

Learning is not a spectator sport

Anónimo

## Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Eusébio Nunes, o privilégio que constituiu para mim interagir de perto com um jovem pedagogo, pela disponibilidade, o espírito crítico e a forma extremamente correcta como soube sempre conduzir este projecto de investigação.

Ao Sr. Prof. Tavares de Oliveira, o desafio lançado no final do curso de especialização, e a quem desejo manifestar uma enorme saudade pelas suas inesquecíveis lições.

Ao Sr. Dr. Francisco Sampaio, Chefe de Divisão de Intervenção Veterinária de Viseu, a libertação das sextas-feiras para assistir à parte curricular do mestrado.

Aos Sócios da unidade fabril, a oportunidade concedida de usufruir das instalações, do parque de máquinas e do precioso tempo do pessoal da manutenção.

Aos Operadores de Linha, Serralheiros e todos os demais trabalhadores da empresa, na pessoa do Encarregado-Geral da fábrica, o Sr. José António Rodrigues, a transmissão de conhecimentos e a amizade.

## **Contributos para a melhoria da disponibilidade e para redução de riscos em unidades de transformação de subprodutos de origem animal**

### **Resumo**

Grande parte do tecido empresarial português de pequena e média dimensão ainda denota uma total ausência de procedimentos formais de avaliação e controlo sistemático de riscos associados à concepção ou redimensionamento dos processos fabris. A falta de um planeamento casuístico aliada a uma condução de forma inconsistente das intervenções de reparação e manutenção dos equipamentos industriais acarreta sempre um custo de indisponibilidade elevado, quer em termos económicos quer ainda nos planos técnico e ambiental, logo que se atinja o balanceamento da produção. Por outro lado, na situação mais comum de sistemas fabris dominados pela incerteza e escassez de dados de fiabilidade sugere-se usualmente que a quantificação das características operacionais deverá incluir informação subjectiva proveniente do julgamento de peritos, apelando nomeadamente ao conhecimento profundo que o pessoal da manutenção habitualmente detém acerca dos processos de falha e reparação.

Com base nas Cadeias de Markov de parâmetro contínuo desenvolve-se neste trabalho uma abordagem sistémica orientada pelos principais processos produtivos e de suporte ao problema da avaliação global da disponibilidade operacional da planta fabril que nos permite depois obter a frequência de visitas e o tempo de permanência nos diferentes estados percorridos pelos vários subsistemas, segundo as Técnicas de Frequência e Duração. Estas medidas de desempenho adicionais constituem um elemento preponderante na avaliação dos custos da indisponibilidade em regime estacionário. Entre os vários temas analisados contam-se as questões relativas quer à parametrização e introdução de aproximações e simplificações na estrutura dos modelos, quer ainda ao efeito acentuado das condições de laboração numa certa ambiguidade das estimativas, bem como as suas implicações ao nível da selecção de cenários para o ambiente técnico da manutenção, além das particularidades da condução de um *FMECA* num contexto de elevada incerteza e escassez de dados de fiabilidade. Apresenta-se igualmente uma técnica de análise estrutural com o intuito de questionar o valor acrescentado de determinadas redundâncias para a disponibilidade operacional do sistema. Por fim, teremos a oportunidade de mostrar um exercício de extensão ao modelo de fiabilidade clássico, onde se pretende ilustrar uma metodologia que através da Teoria dos Conjuntos Difusos permite incluir de forma generalizada a incerteza que acompanha as variáveis de *input* nas expressões analíticas das medidas de desempenho.

*Palavras-chave:* Diagramas Bloco de Fiabilidade (*RBD*); Análise Modal de Falhas e seus Efeitos (*FMECA*); Análise de Markov; Modelação da Incerteza; Índices de Desempenho; Unidades de Transformação de Subprodutos de Origem Animal (UTS).

## **Contributes to risk control and availability improvement of rendering industries**

### **Abstract**

Most of the Portuguese small and medium enterprises still exhibit a complete absence of formal and systematic approaches to risk management of technology development programs. In respect to such situations, the lack of a comprehensive survey of all the critical mission factors combined with inconsistent risk handling actions always lead to an important level of economical losses (as well as environmental and technical ones) due to operational unavailability, whenever production balancing is reached at the shop floor. On the other hand, more often than not, there is a limited amount of sample data and this inhibits the analyst from objectively select the distributions and accurately estimate the basic reliability parameters. In this context, the quantification of uncertain aspects by experienced engineers or experts is frequently adopted.

Based on continuous time, discrete state Markov Chains, this work presents a series of process-oriented Markov models specially developed for system availability evaluation. From the individual state probabilities, additional reliability indices like the frequency of encountering a system state and the average duration of residing in the state can be obtained by the well-known Frequency and Duration Techniques. These additional performance measures compose a crucial element to calculate the long-term downtime cost. Among the subjects discussed in this work, we would like to point out the parametric inputs definition problem and design approximations and simplifications tasks. The system's environment and load conditions effect over some sort of expert's judgement ambiguity and their implications relatively to reliability scenery selection will also be emphasized. Conducting a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis in a strong uncertainty context raise some kind of difficulties that the analyst must deal with. A structural analysis technique will be also carried out aiming to call in question the increased value of some doubtfulness redundancies to the overall operational availability. Lastly, we will show a Fuzzy Markov Extension using one of the manufacturing processes described by a simplification of an Animal By-products Transformation Line. It will be illustrated a methodology that employs Fuzzy Set Theory to adequately propagate the uncertainty associated with the reliability parameters to the output in complex models.

*Keywords:* Reliability Block Diagrams; Failure Modes, Effects and Criticality Analysis; Markov Analysis; Uncertainty Modeling; Performance Measures; Rendering Industries.

# Índice

Declaração.....	ii
Agradecimentos.....	iv
Resumo .....	v
Abstract.....	vi
Índice .....	vii
Índice de Figuras .....	viii
Índice de Tabelas .....	ix
Lista de Acrónimos e Abreviaturas.....	x
Lista de Símbolos .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento Legislativo .....	2
1.2 Descrição do Problema .....	6
1.3 Objectivos .....	8
1.4 Metodologia e Organização da Dissertação.....	8
2. MODELOS DE SUPORTE E DE ANÁLISE DE RISCO.....	13
2.1 Diagramas Funcionais e de Fluxo de Matérias e Informação.....	14
2.1.1 Aproximações e Simplificações do Modelo de Fiabilidade.....	14
2.1.2 Parametrização dos Modelos de Fiabilidade e Manutenibilidade.....	15
2.1.3 Ambiente Técnico, Ambiguidade das Estimativas e Selecção de Cenários .....	17
2.2 Análise Modal de Falhas e seus Efeitos.....	20
2.2.1 Elaboração de um <i>FMECA</i> num Contexto de Elevada Incerteza .....	24
3. MODELOS DINÂMICOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL .....	28
3.1 Modelos de Markov .....	30
3.2 Técnicas de Frequência e Duração.....	37

3.3 Apresentação e Discussão de Resultados.....	39
3.4 Perdas Operacionais e Custos de Posse.....	44
3.5 Modelação e Propagação da Incerteza dos Parâmetros de Fiabilidade .....	46
3.5.1 Conceitos Básicos.....	47
3.5.2 Aritmética Difusa .....	50
3.5.3 Princípio da Extensão com Cortes- $\alpha$ .....	50
3.5.4 Exemplo de Aplicação.....	52
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	58
Referências .....	60
Regulamentos e Directivas Nacionais e Comunitárias .....	61
ANEXO A: Diagramas Funcionais e de Fluxo de Matérias e Informação .....	62
ANEXO B: Base de Dados de Fiabilidade .....	90
ANEXO C: FMECA e Lista de Controlos .....	93
ANEXO D: Diagramas de Estado .....	139
ANEXO E: Índices de Desempenho .....	144
ANEXO F: Modelo de Registo de Tempos de Falhas e Reparações .....	147

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Diagrama Geral de Fluxos .....	7
Figura 2.1: Diagrama de Fluxo de Matérias e Informação da Linha 1 (Resíduos+Gordura) M2 ..	15
Figura 2.2: Inserção do Modelo Completo de Fiabilidade (Linha 4: Penas M3).....	16
Figura 2.3: Modelo Simplificado de Fiabilidade .....	18
Figura 2.4: Diagrama Circular da Proporção de RPN por Classes de Criticidade de Risco .....	22
Figura 2.5: Observações de RPN por Equipamentos/Componentes Críticos.....	23
Figura 2.6: Histograma do Efectivo de RPN por Classes de Criticidade de Risco.....	23
Figura 3.1: Diagrama de Estados da Central Térmica (Incineradora+Sala de Vapor).....	33

Figura 3.2: Diagrama de Estados da Linha 1 (Resíduos+Gordura) M2 .....	33
Figura 3.3: Quadro de Simulação CARMS da Linha 1 – Comportamento Assimptótico .....	36
Figura 3.4: Diagrama Cronológico de Estados – Sistema Simples .....	37
Figura 3.5: Contribuição Projectada dos Estados Acumulados para Disponibilidade Operacional	41
Figura 3.6: Contribuição Nominal dos Estados Acumulados para a Disponibilidade Operacional	42
Figura 3.7: Margem de Progressão Inaugural da Disponibilidade Operacional .....	43
Figura 3.8: Representação de um Conjunto Difuso $\tilde{A}$ .....	48
Figura 3.9: Representação de um Número Difuso Trapezoidal $\tilde{B}$ .....	49
Figura 3.10: Discretização de uma Variável Difusa por Intermédio de Cortes- $\alpha$ .....	51
Figura 3.11: Diagrama de Estados da Linha 3: Sangue M3 .....	52
Figura 3.12: Tempo de Vida Difuso (Veios dos Digestores) .....	53
Figura 3.13: Tempo Técnico de Reparação Difuso (Veios dos Digestores).....	53
Figura 3.14: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 1 .....	54
Figura 3.15: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 2 .....	55
Figura 3.16: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 3 .....	55
Figura 3.17: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 4 .....	56
Figura 3.18: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 5 .....	57

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Inserção da Base de Dados de Fiabilidade (Famílias Técnicas Mais Expressivas) ..	20
Tabela 2.2: Índices de Severidade .....	21
Tabela 2.3: Probabilidade de Ocorrência e N.º Falhas por 10 <sup>6</sup> Horas .....	22
Tabela 2.4: Índices de Detecção .....	22
Tabela 2.5: Inserção do Quadro FMECA n.º 12 (Torres de Arrefecimento).....	25
Tabela 2.6: Inserção da Lista de Controlos (Famílias Técnicas Mais Expressivas).....	26
Tabela 2.7: Inserção do Registo de Controlos (Pacotes de Supervisão) .....	27
Tabela 3.1: Quadro de Transição CARMS da Linha 1 – Condições Iniciais .....	34
Tabela 3.2: Quadro de Transição CARMS da Linha 1 – Regime Estacionário (Cenário Nominal)	36

Tabela 3.3: Índices de Desempenho – Principais Processos e Planta Fabril (Cenário Projectado)	40
Tabela 3.4: Índices de Desempenho – Principais Processos e Planta Fabril (Cenário Nominal).	42
Tabela 3.5: Resultados da Simplificação Estrutural.....	45
Tabela 3.6: Valores de $P_1$ para 5 Cortes- $\alpha$ das Funções de Pertença dos Parâmetros de <i>Input</i>	54
Tabela 3.7 Valores de $P_2$ para 5 Cortes- $\alpha$ das Funções de Pertença dos Parâmetros de <i>Input</i>	55
Tabela 3.8: Valores de $P_3$ para 5 Cortes- $\alpha$ das Funções de Pertença dos Parâmetros de <i>Input</i>	56
Tabela 3.9: Valores de $P_4$ para 5 Cortes- $\alpha$ das Funções de Pertença dos Parâmetros de <i>Input</i>	56

## Lista de Acrónimos e Abreviaturas (por ordem de entrada)

PME – Pequenas e Médias Empresas;

UTS – Unidades de Transformação de Subprodutos (de origem animal);

SPA – Subprodutos de Origem Animal (não destinados ao consumo humano);

EET – Encefalopatias Espongiformes Transmissíveis;

MTE – Materiais de Tratamento Específico;

MRE – Materiais de Risco Especificado;

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos;

EXIST – Existências;

RIB – Resíduos Industriais Banais;

DGV – Direcção-Geral de Veterinária;

DRA – Direcções Regionais de Agricultura;

ASAE – Autoridade de Segurança Alimentar e Económica;

HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points;

RAMS – Reliability, Availability, Maintainability and Safety;

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais;

RBD – Reliability Block Diagrams;

FMEA – Failure Modes and Effects Analysis;

FMECA – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis;

SMED – Single Minute Exchange of Die;



RPN – Risk Priority Number;

ALARP – As Low As Reasonably Practicable;

CARMS – Computer-Aided Rate Modeling and Simulation;

TTF – Time To Failure;

MDT – Maintenance Down Time;

RT – Restore Time;

TBM – Time Between Maintenance;

TBF – Time Between Failures;

MTTF – Mean Time To Failure;

MTTR – Mean Time To Repair;

MTBF – Mean Time Between Failures.

## Lista de Símbolos (por ordem de entrada)

$\lambda_s$  – Taxa de falhas do sistema-série;

$\lambda_i$  – Taxa de falhas dos componentes/equipamentos críticos;

$\mu_s$  – Taxa de reparação do sistema-série.

$TTR_i$  – Tempos técnicos de reparação individuais;

$\{X(t)\}$  – Processo estocástico genérico (coleção de variáveis aleatórias);

$T$  – Parâmetro de espaço (discreto ou contínuo);

$t$  – Parâmetro de tempo (contínuo);

$n$  – Janelas temporais ou passos do processo (de parâmetro discreto);

$\Omega$  – Espaço de estados;

$Z(t)$  – Processo de estados discretos ou Cadeia de Markov de Tempo Contínuo;

$P_i(t)$  – Probabilidade do sistema se encontrar no estado  $i$  no tempo  $t$ ;

$P(t)$  – Vector das probabilidades de estado;

$p_{ij}$  – Probabilidade de transição directa do estado  $i$  para o estado  $j$ ;

$\lambda_{ij}$  – Taxa de transição entre o estado  $i$  e o estado  $j$  ;

$A$  – Matriz infinitesimal geradora da cadeia de Markov;

$a_{ij}$  – Elementos da matriz infinitesimal;

$P'(t)$  – Vector das probabilidades de estado instantâneas;

$P(0)$  – Condições iniciais do processo markoviano;

$cp\_f$  – Taxa de falha de um único conjunto do grupo de permutadores;

$cp\_r$  – Taxa de reparação de um único conjunto do grupo de permutadores;

$cc\_f$  – Taxa de falha de um único conjunto do grupo de caldeiras;

$cc\_r$  – Taxa de reparação de um único conjunto do grupo de caldeiras;

$cd\_f$  – Taxa de falha de um único conjunto do grupo de digestores;

$cd\_r$  – Taxa de reparação de um único conjunto do grupo de digestores;

$ps\_f$  – Taxa de falha de uma prensa simples ou de veio único;

$ps\_r$  – Taxa de reparação de uma prensa simples;

$tc\_f$  – Taxa de falha do tronco comum do respectivo processo fabril;

$tc\_r$  – Taxa de reparação do tronco comum do respectivo processo fabril;

$P_i(\infty)$  – Probabilidade limite de permanência num estado  $i$  ou;

$P_i$  – Probabilidade de um processo (sistema) se encontrar no estado  $i$  em regime estacionário;

$m$  – Tempo médio de funcionamento (*Up Time*);

$r$  – Tempo médio de reparação (*Down time*);

$T$  – Tempo de ciclo (de falha e reparação);

$f$  – Frequência de visitas ou entrada num determinado estado;

$\overline{P_i}$  – Probabilidade de residir fora do estado  $i$  ;

$P_{234}$  – Probabilidade acumulada de permanência "dentro da muralha" dos estados 2, 3 e 4;

$A$  – Disponibilidade;

$U$  – Indisponibilidade;

$f_{234}$  – Frequência acumulada de visitas "ao interior da muralha" dos estados 2, 3 e 4;  
 $m_{234}$  – Duração ou tempo de permanência acumulado "dentro da muralha" dos estados 2, 3 e 4;  
 $C_{US}$  – Custos indirectos da indisponibilidade global gerados só por perdas anuais de capacidade;  
 $\eta_{Pi}$  – Produtividade nominal do processo fabril  $i$  ;  
 $V_{Pi}$  – Valor comercial da respectiva mercadoria;  
 $T_{Uij}$  – Tempo de permanência anual no estado de indisponibilidade  $j$  de um dado processo  $i$  ;  
 $C_{Pij}$  – Decréscimo de capacidade produtiva nominal nos diversos estados de indisponibilidade;  
 $\tilde{A}$  – Conjunto difuso;  
 $\mu_{\tilde{A}}$  – Função de pertença de  $\tilde{A}$  ;  
 $\mu_{\tilde{A}}(x)$  – Grau de pertença de  $x$  a  $\tilde{A}$  ;  
 $X$  – Universo de discurso de  $\tilde{A}$  ;  
 $^{\alpha}A$  – Corte- $\alpha$  de  $\tilde{A}$  ;  
 $^{0+}A$  – Suporte de  $\tilde{A}$  ;  
 $^1A$  – Núcleo de  $\tilde{A}$  ;  
 $[b_1, b_2, b_3, b_4]$  – Número difuso trapezoidal (quádruplo ou tétraplo);  
 $\otimes$  – Uma das quatro operações aritméticas elementares (+, -,  $\times$ ,  $\div$ );  
 $\tilde{C} = f(\tilde{A}, \tilde{B})$  – Resultado da operação binária;  
 $\tilde{x}_i$  – Variável difusa;  
 $I_{\alpha}$  – Intervalos de corte- $\alpha$  da função de pertença de  $\tilde{x}_i$  ;  
 $C_{\tilde{x}_i}$  – Conjunto difuso discreto de  $\tilde{x}_i$  ;  
 $I \rightarrow (x_{ir}, x_{js}, \dots, x_{nt})$  –  $n$ -uplo;  
 $Y_I = f(x_{ir}, x_{js}, \dots, x_{nt})$  – Um valor do espaço de resultados da medida de desempenho;  
 $\mu_{(Y_I)}$  – Grau de pertença do valor anterior ao espaço de resultados da medida de desempenho;  
 $O_{\alpha}$  – Intervalo de corte- $\alpha$  da função de pertença do espaço de resultados do índice de fiabilidade.



## Introdução

Actualmente o mundo industrializado mostra uma tendência crescente de fragmentação dos grandes grupos e empresas em unidades organizadas de pequena dimensão, nalguns casos com serviços centrais reduzidos à sua expressão mínima e relativamente autónomas, pese embora o acréscimo de fusões observado nos últimos anos. Nos organismos estatais o sinal dos tempos modernos faz-se particularmente sentir por via da introdução dos chamados programas de ajustamento estrutural. Tanto no sector público como no sector privado é exercida sobre os diversos departamentos uma enorme pressão de cumprimento de metas orçamentais, obrigando os responsáveis a uma melhor articulação de objectivos e afectação de recursos, ao acerto do quadro de pessoal e demonstração de resultados em termos de eficiência e produtividade [Richthofen, 2002].

Neste quadro de mudança de paradigma a organização e gestão da manutenção surge como uma das tarefas mais aliciantes dentro do universo das operações fabris por duas ordens de razão distintas. Em primeiro lugar encontra-se o estímulo colocado à partida pela complexidade da vertente técnica do problema e em segundo, como se poderá ver mais adiante, a considerável margem de progressão inaugural dos sistemas fabris ao nível da disponibilidade operacional e que necessariamente terá de ser encarada, dado o estado incipiente da função na esmagadora maioria das PME, bem como os pesados custos económicos, técnicos e ambientais motivados pela ausência de avaliação e controlo dos riscos de falha dos equipamentos e do reconhecido efeito multiplicador das acções de melhoria nos planos motivacional e cultural, entre outros.

A teoria geral dos sistemas beneficia de disciplinas técnicas díspares, cada qual com os seus próprios teoremas, modelos e expressões, e mesmo para cada área não é invulgar deparar com técnicas semelhantes desenvolvidas especialmente para aplicações particulares. A justificação reside na dificuldade inerente de tratar problemas com múltiplas variáveis, na inexistência de uma moldura genérica dentro da qual seja possível formular e resolver inteiramente uma questão e na falta de ênfase na simetria e nos aspectos combinatórios dos modelos descritivos da vida e das características operacionais dos sistemas. A engenharia de sistemas necessita acima de tudo de uma abordagem integrada, de um genuíno interesse pelos maquinismos e de uma atitude capaz de combinar vários conceitos, ferramentas e procedimentos. A mesma atitude é ainda decisiva naqueles que têm por dever gerir o impulso de mudança das equipas de engenharia dispostas no terreno [Pukite, 1998].

A maior parte dos programas de optimização estrutural procura calcular medidas de desempenho para os principais processos das plantas fabris, tais como os índices de frequência e duração das perdas ou a disponibilidade operacional, testando diferentes configurações de equipamentos e seguindo uma abordagem probabilística convencional assente na Hipótese Markoviana de falta de memória do sistema, ou seja, admitindo que o seu comportamento futuro apenas depende do estado actual e não do percurso de vida anterior. Em análise de fiabilidade clássica esta condição é suportada pelo Processo de Poisson Homogéneo, onde se considera que o sistema evolui ao longo do seu espaço de estados com taxas de transição conhecidas e constantes, isto é, o tempo de permanência em cada um deles segue uma distribuição Exponencial negativa.

No entanto, é comum observar-se que os mesmos modelos de fiabilidade raramente incorporam a incerteza que normalmente acompanha as variáveis de *input*, o que se traduz numa importante limitação para os directores fabris, uma vez que a qualidade dos elementos de apoio à decisão gerados pelas simulações afecta consideravelmente a gestão e o planeamento operacional dos principais processos produtivos e de suporte. Com efeito, uma profunda resistência ao registo sistemático das ocorrências condiciona em muitas circunstâncias a selecção das distribuições de probabilidade apropriadas e a estimativa dos parâmetros de fiabilidade básicos. Neste contexto, vários autores [Dubois et al., 2000; Klir & Yuan, 1995] referidos por Nunes et al. [2006] sugerem que a quantificação das características operacionais dominadas pela incerteza deve incorporar informação subjectiva proveniente do julgamento de peritos.

De acordo com estas e outras ideias desenvolver-se-á ao longo deste trabalho um quadro de modelação que possibilita primeiro obter e depois analisar as vulgares medidas de desempenho relativas quer aos principais processos quer à planta fabril de uma UTS; bem como um modelo de análise de risco derivado do estudo dos modos de falha mais significativos. Na parte final da dissertação apresenta-se igualmente uma abordagem difuso-probabilística que permite efectuar a propagação da incerteza aos índices de desempenho, a partir das suas expressões analíticas e do conhecimento das funções de pertença que modelam a incerteza contida nos parâmetros de fiabilidade básicos (i.e. as taxas de falhas e tempos médios de reparação).

Um outro aspecto merecedor da máxima atenção e que atravessa todas as profissões prende-se com a normal preocupação de pautar a conduta por forma correcta, designadamente quanto à obrigatoriedade de mostrar um domínio profundo do conjunto de normas legais e regulamentares produzidas através dos tempos (pelo menos aqueles mais recentes) para o sector de actividade próprio e de possuir minimamente as noções de cultura geral sobre a sua relação jurídica de emprego, e também dos direitos, deveres e garantias das partes. (O leitor menos interessado no enquadramento normativo e legislativo do sector da transformação de subprodutos de origem animal pode saltar a próxima subsecção e voltar a ela eventualmente mais tarde.)

## 1.1 Enquadramento Legislativo

Inseridas no eixo da cadeia de valor da utilização ou eliminação de subprodutos de origem animal não destinados ao consumo humano (SPA), espera-se hoje a adopção por parte das unidades de transformação de subprodutos (UTS) de uma disciplina de responsabilidade social para o bom funcionamento de uma actividade económica intimamente ligada com as questões do ambiente e da saúde pública, se considerarmos não só a segurança alimentar como também os riscos biológicos emergentes para operários e população em geral de possíveis surtos de gripe aviária e tantos outros microrganismos e constituintes celulares disseminados nestes locais de trabalho.

De acordo com uma tradição que durou largos anos constituía prática generalizada a reutilização pela indústria transformadora da grande maioria dos SPA na cadeia de produção de alimentos para animais.

A Directiva do Conselho n.º 90/667/CEE de 27 de Novembro veio estatuir o princípio de que todos os resíduos animais independentemente da sua origem poderiam ser incorporados na produção de alimentos para animais após tratamento adequado.

O Comité Científico Director emitiu à época uma série de pareceres que alertavam para a urgência de eliminar da cadeia alimentar animal aqueles SPA derivados de animais considerados impróprios para consumo humano na sequência de uma inspecção sanitária. À luz daquelas opiniões haveria principalmente que limitar as possíveis utilizações de certas matérias de risco das Encefalopatias Espongiformes Transmissíveis (EET) e prever regras de uso dos SPA para outros fins que não a alimentação, bem como para a sua destruição.

Em Julho de 1994 foi adoptada a proibição de utilizar no espaço comunitário produtos proteicos derivados de tecidos de mamíferos na alimentação dos ruminantes. Decorridos cerca de três anos a Conferência Científica Internacional organizada pela Comissão Europeia e Parlamento Europeu sobre farinhas de carne e ossos deu início a um debate público alargado quanto ao futuro da legislação comunitária em matéria de alimentação animal. Dessa consulta surgiu mais tarde o reconhecimento generalizado da necessidade de alterar a Directiva n.º 90/667/CEE com vista à sua actualização de acordo com as novas informações científicas disponíveis.

No nosso País a decisão comunitária seria transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei n.º 377/98 de 25 de Novembro, entendendo o Estado assumir nessa altura a completa responsabilidade pelo serviço de recolha, transformação e destruição daqueles resíduos animais para que os agentes económicos absorvessem sem grandes sobressaltos o impacto das medidas de combate às EET.

O processo de consulta haveria no entanto de culminar com a publicação da Decisão do Conselho n.º 2000/766/CE de 4 de Dezembro que proibiu temporariamente a utilização de proteínas animais transformadas na alimentação dos animais de criação até que um novo

Regulamento entrasse em vigor. O juízo dos especialistas apontava nomeadamente para que a alimentação de uma espécie animal com proteínas derivadas da transformação dos corpos ou partes de corpos de animais da mesma espécie (ou canibalismo) representaria um risco suplementar de propagação de doença. Por conseguinte e como medida de salvaguarda, esta prática deveria ser erradicada. Adicionalmente deveriam ser adoptadas medidas de execução que garantissem a necessária separação dos SPA destinados à alimentação animal em todas as fases de transformação, armazenagem e transporte.

Simultaneamente e como instrumento de apoio à proibição de comercialização decretada ao nível comunitário (que no caso português duplicou sensivelmente a quantidade de SPA interditos e como tal agravou ainda mais a premência de se encontrarem destinos alternativos para estes materiais) é aprovada a Directiva n.º 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de Dezembro relativa à incineração de resíduos. Este documento oficial apenas cobre os SPA transformados excluindo do seu âmbito as carcaças de animais, tal como previsto na Directiva 90/667/CEE, entretanto revogada pelo Regulamento (CE) n.º 1774/2002 de 3 de Outubro que define as novas regras de sanidade animal e saúde pública aplicáveis tanto à recolha, transporte, armazenagem, transformação e utilização ou eliminação de SPA, como à colocação no mercado e em certos casos específicos à exportação e trânsito de SPA e seus derivados não destinados ao consumo humano.

No território nacional a Resolução do Conselho de Ministros n.º 161/2001 de 15 de Novembro veio aprovar o plano da Estratégia de Gestão de Resíduos de Origem Animal Resultante da Protecção Contra as EET e que em traços gerais visava:

1. Dar resposta imediata à problemática da armazenagem temporária de farinhas esterilizadas de SPA e materiais de tratamento específico (MTE), mais tarde intitulados de risco especificado (MRE), isto é, submetidos a tratamento térmico acima de 133º C durante 20 minutos ininterruptos sob uma pressão absoluta não inferior a 3 bar, mediante a sua deposição em aterro de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU);
2. Prosseguir a valorização energética das gorduras animais fundidas resultantes da prensagem de farinhas esterilizadas de SPA e MTE, por via da sua utilização como combustível nas próprias UTS;
3. Manter a armazenagem temporária de farinhas de MTE pré-tratadas e dos materiais processados anteriormente à entrada em vigor da proibição de comercialização (EXIST);
4. Evoluir a curto prazo para a deposição em aterro de Resíduos Industriais Banais (RIB) em substituição dos aterros de RSU e para a implementação de outras soluções técnica, económica e ambientalmente consistentes, privilegiando a valorização material (ex. compostagem) ou



energética (ex. co-incineração) em detrimento da eliminação, dada a excelente matriz orgânica para a produção de fertilizantes e ao elevado poder calorífico das farinhas;

5. Aprofundar a curto prazo a possibilidade de instalação de unidades de incineração de material fresco ou transformado com o intuito de dar um destino final às farinhas de MTE pré-tratadas e EXIST, bem como de farinhas a produzir futuramente, esterilizadas ou não, cuja composição no que toca de modo especial ao teor de gordura inviabilize a sua valorização por co-incineração em cimenteiras.

Refira-se também o Decreto-Lei n.º 197/2002 de 25 de Setembro que fixa as taxas a pagar pelo serviço de recolha, transporte, transformação e destruição dos SPA (incluindo os MRE) e ainda o Decreto-Lei n.º 244/2003 de 7 de Outubro que efectua a transposição para a ordem jurídica nacional do Regulamento (CE) n.º 1774/2002 de 3 de Outubro, e estabelece o regime a que ficam obrigadas as entidades geradoras de SPA nos sectores da carne fresca e das aves de capoeira relativamente à sua eliminação, prevendo mesmo a obrigatoriedade de apresentação e execução de um plano sujeito a uma apreciação prévia da Direcção-Geral de Veterinária (DGV), no qual os matadouros, as salas de desmancha, os centros de incubação e indústrias de ovoprodutos devem por iniciativa própria ou recorrendo à contratação de serviços de terceiros promover a utilização ou destruição das matérias das categorias 1, 2 e 3 de acordo com o disposto no Regulamento SPA, indicando nomeadamente os diagramas de fluxo de matérias ou circuitos complementares de eliminação, caso existam.

Presentemente vigora o Decreto-Lei n.º 122/2006 de 27 de Junho que define as diversas entidades competentes no processo de aprovação (DGV) e controlo (DRA e ASAE) das actividades que têm lugar ao longo da cadeia de valor da utilização ou eliminação de SPA, bem como identifica o regime de licenciamento aplicável aos estabelecimentos onde as mesmas ocorrem. Promove-se igualmente a possibilidade de utilização de certos SPA como combustível directo para a produção de biogás ou como matérias-primas para o fabrico de biodiesel.

As UTS das categorias 1, 2 e 3 depois de verem aprovadas pela DGV os seus diagramas de fluxo de matérias e informação, as rotinas de laboração e os traçadores contínuos ficam sob a alçada fiscal da Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE), à qual compete vigiar a eficácia do autocontrolo (teoricamente concebido segundo os princípios do sistema de Análise de Risco e Controlo de Pontos Críticos, usualmente conhecido pelo acrónimo *HACCP*) através do exame dos registos diários e dos resultados das análises microbiológicas. Nesse sentido as UTS deverão cumprir as especificações técnicas e os requisitos gerais de higiene relativos à disposição das instalações, à natureza dos equipamentos, à higiene do pessoal, à capacidade de produção de vapor, aos tratamentos térmicos, à protecção contra animais nocivos (ex. insectos, roedores e aves), à evacuação de águas residuais, e por último, à limpeza e desinfectação das instalações e dos veículos.

O Capítulo III do Anexo V ao Regulamento SPA descreve sete métodos de transformação que deverão ser aplicados consoante a categoria e o tipo de subprodutos animais. Para cada um dos métodos é conveniente identificar e monitorizar os pontos críticos de controlo que determinam a amplitude dos tratamentos térmicos, entre os quais: a dimensão das partículas, a temperatura, a pressão e a duração do processo, e estabelecer um contrato produção-logística que garanta a rastreabilidade de cada lote expedido. A ASAE (em articulação com as DRA) supervisiona a produção e suspenderá de imediato as licenças caso sejam desrespeitadas as condições de exploração e os requisitos técnicos em vigor.

## 1.2 Descrição do Problema

Tipicamente a configuração da planta fabril de uma UTS pertencente à fileira avícola engloba quatro linhas de produção: uma direccionada para a transformação de matérias da categoria 2 reservadas ao tratamento térmico numa instalação de queima própria com vista à recuperação do calor gerado pela combustão para produção de vapor com fins industriais e termoelectricos (i.e. na mira da auto-suficiência energética) e as demais inteiramente dedicadas ao fabrico de proteínas animais transformadas, derivadas de matérias da categoria 3 e destinadas a ser utilizadas directamente ou incorporadas em alimentos para aquicultura e animais de criação (ex. farinha de sangue de não ruminantes) ou de companhia (ex. farinha de carne e ossos de aves e farinha de penas).

Saliente-se que tanto a linha de tratamento de resíduos, ou seja, SPA não destinados ao consumo animal e que atingem nos matadouros de aves um peso ínfimo comparativamente aos quantitativos de lamas e camas dos aviários, como a linha de produção de farinha de carne e ossos possuem circuitos de extracção "paralelos" de gorduras animais fundidas, vocacionadas quer para a sua valorização energética na própria UTS quer para a sua valorização material em unidades oleoquímicas.

Além destes subsistemas produtivos e de suporte, as condições de exploração exigíveis nas UTS acarretam habitualmente a instalação de redes e dispositivos de purga e reciclagem de condensados, resultantes dos tratamentos térmicos e de equipamentos de depuração das fontes individuais e difusas de vapores orgânicos oriundos dos bolos digestivos. O sistema de comando através de ar comprimido e controlo semi-automático efectua basicamente a gestão do fluxo de matérias, combustíveis e água através da abertura e fecho das válvulas e da ignição e paragem remota dos motores (*vide* Figura 1.1).

A instituição de vínculos contratuais de natureza essencialmente económica ou geográfica conduz a uma dificuldade importante neste sector: se qualquer indústria considera razoável ver lotada a sua capacidade instalada ou disponível num dado momento e se é delicado definir de antemão circuitos de eliminação verdadeiramente alternativos no seio dos planos de contingência

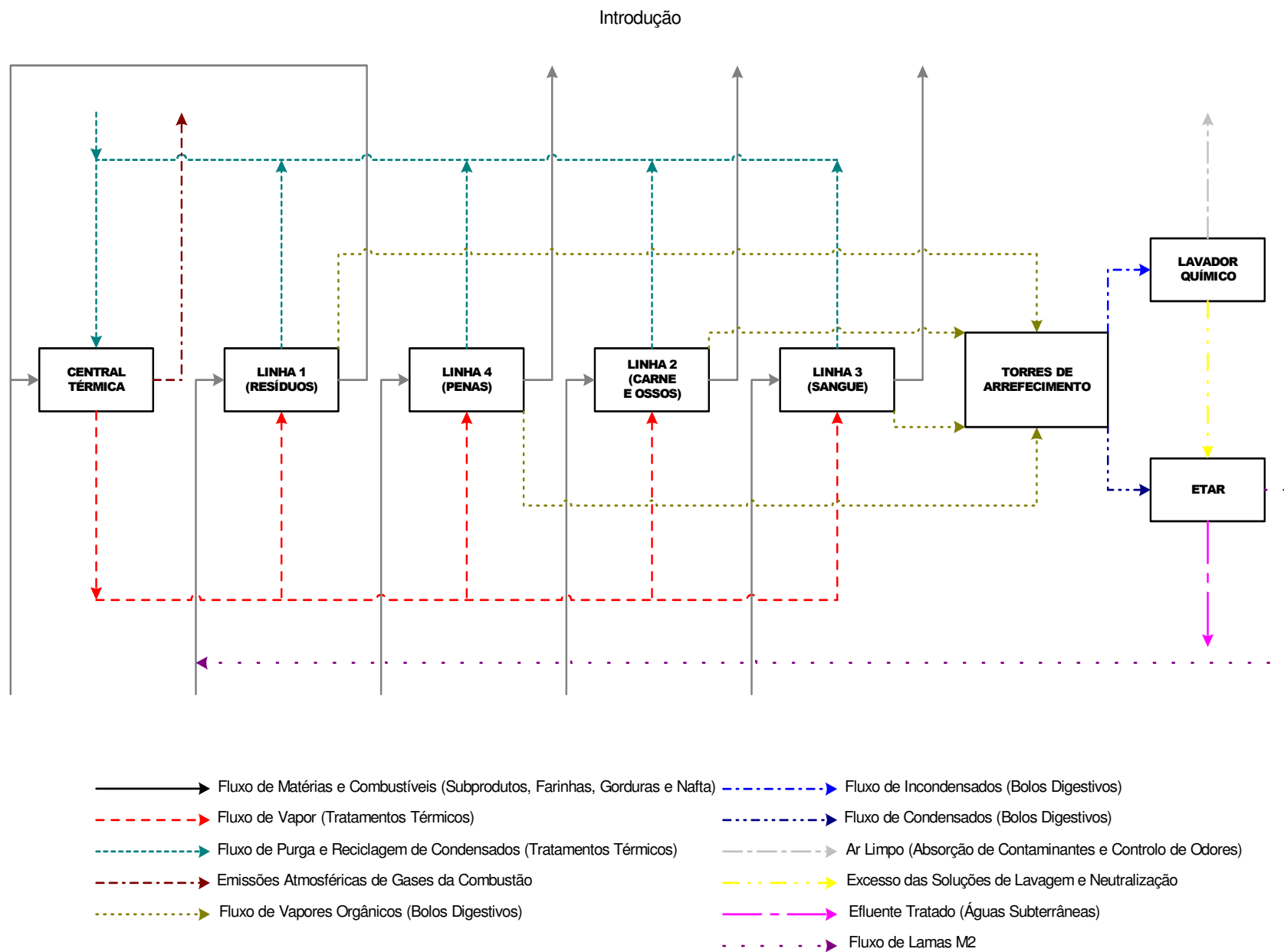


Figura 1.1: Diagrama Geral de Fluxos

nacionais, como devem então preparar-se as UTS para evitar a ocorrência de falhas severas e reduzir o número de falhas críticas (que se traduz no decréscimo da disponibilidade operacional) sem transferir os prejuízos daí decorrentes para a sociedade, especialmente quando evidenciam facetas tão incómodas como os acidentes com lesão grave ou dano à propriedade, o impacto ambiental das actividades e a perda de qualidade de produtos e serviços?

Na verdade e sobretudo nas UTS dedicadas (por oposição às unidades fabris com uma estrutura mais leve anexas a matadouros) constitui prática corrente abraçar uma política de adiamento da manutenção quando confrontadas com uma quebra episódica da disponibilidade operacional. O retardamento das acções correctivas é compensado simultaneamente pelo encurtamento da fase de secagem do ciclo operacional e pelo agravamento da carga horária semanal ou, ainda, mediante a supressão do tratamento térmico a misturas de sólidos e líquidos, sobrecarregando com isso a procura da capacidade de depuração da ETAR.

### 1.3 Objectivos

Neste trabalho foram definidos os seguintes objectivos:

1. Especificar e desenvolver modelos de avaliação da disponibilidade operacional e de análise de risco adaptados às características particulares das UTS;
2. Conjuguar o uso de ferramentas da metodologia *RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety)* com a Teoria dos Conjuntos Difusos no sentido de obter os índices de desempenho dos principais processos de uma UTS;
3. Mostrar a relevância da abordagem difuso-probabilística na avaliação de sistemas dominados pela incerteza e escassez de dados de fiabilidade;
4. Realçar o interesse de se encarar a gestão da manutenção em linha com os actuais preceitos do racionalismo económico, técnico e ambiental.

### 1.4 Metodologia e Organização da Dissertação

Este trabalho trata fundamentalmente dos aspectos dinâmicos da disponibilidade operacional e da redução da taxa de falhas, muito em particular daquelas falhas que conduzem o sistema para um estado de risco iminente no plano da segurança do pessoal, instalações ou sociedade. Sem perder de vista a importância de identificar, seleccionar e traduzir nos modelos estocásticos de fiabilidade (i.e. as Cadeias de Markov de Tempo Contínuo) as características físicas e condições operacionais determinantes do comportamento global dos sistemas (l. *macromechanics or bulk mechanics*) no sentido de obter respostas com real significado prático, procurou-se inicialmente captar a orgânica funcional aos diferentes níveis estruturais através da construção dos diagramas

funcionais e de fluxo de matérias e informação (e também de vários *zooms* daqueles aspectos de pormenor situados num plano inferior em comparação com o nível geral de decomposição) que facilitassem o justo entendimento das relações funcionais e de interdependência funcional e de fiabilidade dos processos fabris, numa ilustração da técnica de decomposição (ou partição) de sistemas complexos nos seus principais processos produtivos e de suporte com o auxílio dos Diagramas Bloco de Fiabilidade (I. *RBD*). Uma vez traçada a matriz orgânica da unidade fabril, as características individuais de certas partes do problema podem ser temporariamente ignoradas e a atenção redireccionada para os factores críticos de missão, em conformidade com os níveis operacional, estratégico e global da pirâmide de análise e decisão [Billinton & Allan, 1983; Pukite, 1998].

Na situação mais frequente de sistemas fabris dominados pela escassez de registos temporais das ocorrências, o levantamento dos parâmetros de fiabilidade básicos, como são os tempos de indisponibilidade ou de reposição e as taxas de falha dos componentes e equipamentos mais importantes para a definição e avaliação dos vulgares índices de desempenho, quer das linhas de produção quer da fábrica no seu todo, é habitualmente conduzido no âmbito de uma Análise Modal de Falhas e seus Efeitos assente no conhecimento empírico dos operários [Crowe, Dana et al., 2001]. Dito de outro modo, é-lhes solicitada a verbalização de estimativas temporais por intervalos de confiança que possam exprimir individualmente (sob a forma de números difusos triangulares) a reciprocidade visível entre os cenários pessimista, realista e optimista do ambiente técnico da manutenção e os níveis de carga profundo, intermédio e leve das intervenções (*Fuzzy FMEA*, no jargão anglófono) [Chen & Huang, 2007].

Recorde-se a política de adiamento seguida com carácter de regularidade na UTS e do seu efeito impulsor praticado sobre algumas cascatas de impedimentos típicas do estado de degradação a que são submetidos estes equipamentos e do inevitável restauro da sua condição básica (e por conseguinte toda a morosidade), tornando indispensável o estudo do trabalho para melhoria do tempo perdido segundo os ensinamentos do método de Mudança de Ferramenta em Menos de 10 Minutos (I. *SMED*) e a formação e treino dos operadores de linha nas técnicas de Manutenção Autónoma [Coimbra, 2000]. Acresce ainda que o grau de deterioração dos activos pode variar em função da localização específica da operação dentro dos actuais perfis de missão, basta ver a distinção entre as zonas suja (ex. descarga) e limpa (ex. transformação e expedição) das áreas fabris e a necessidade de vencer diferenças de altura e lembrar o caso dos transportadores. No momento de avaliar a severidade dos efeitos da falha ou do seu impacto funcional hierárquico (o que é o mesmo) considera-se somente a pior consequência possível ao nível dos requisitos de missão, desempenho, manutenibilidade e segurança (e tradicionalmente dentro deste critério, o valor menos favorável ou o mais verosímil, isto é, a excepção ou a regra, consoante a faceta do risco).

Em sentido lato o ambiente técnico da manutenção encerra um conjunto de factores operacionais e logísticos, tais como: o clima laboral e a coordenação interna e interdepartamental; o ambiente físico das naves fabris e da envolvente; os esforços e propriedades dos órgãos das máquinas e instalações eléctricas ou mecânicas; a disponibilidade de pessoal habilitado; o fornecimento de sobresselentes, peças de reserva ou de substituição, de materiais de consumo corrente e de equipamentos de suporte; e por último, a filosofia de reparação.

Notar que a reserva do analista posta na apreciação do estado actual do ambiente técnico e da sua perspectiva de evolução a curto prazo (de acordo com a ambição do programa de inovação tecnológica e/ou comportamental) traduzir-se-á na escolha de valores neutros para o grau de confiança dos especialistas (ou seja, a probabilidade de sucesso ou de cumprimento das metas) e índice de optimismo do decisor (i.e. a inclinação para aceitar o risco inerente das medidas em contraste com o risco de uma tomada de decisão excessivamente conservadora e consequente comprometimento do programa de melhorias e do potencial de negócio), perdendo também ele a única oportunidade para ponderar de forma convincente uma análise de sensibilidade executada de modo generalizado em apenas uma chamada da rotina de cálculo [Crowe, Dana et al., 2001; Lee & Chen, 2007].

Sob o ponto de vista pragmático esta abordagem oferece uma visão abrangente dos factores de risco presentes na planta fabril (consolidada obviamente por uma longa experiência no manuseio dos equipamentos em condições de carga e ambiente reais) e evita o desperdício de tempo na listagem de modos de falha superficiais, reflectindo em simultâneo toda aquela inegável vagueza, imprecisão e subjectividade tantas vezes associada às variáveis de *input* (principalmente quando o histórico ou os dados da amostra são insuficientes ou mesmo inexistentes) mas que não será ignorada neste trabalho ao contrário do que geralmente sucede quando se recorre a estimativas médias [Crowe, Dana et al., 2001; Zhang, Tham & Li, 2005].

Binh & Khoa [2006] reconhecem nesta incerteza que incide sobre o julgamento dos peritos e que resulta tanto da escassez de registos como do conhecimento imperfeito acerca das relações de interdependência entre componentes (que aliás e como pudemos ver dependem fortemente das condições de exploração locais e são ao mesmo tempo responsáveis por uma certa ambiguidade e contradição nos valores das estimativas) uma janela de possibilidades para efectuar a análise de fiabilidade do sistema com maior flexibilidade ou, se quisermos, com menor rigidez.

O corolário metodológico trazido por esta incerteza que acompanha a informação de entrada nos modelos de avaliação dinâmica da disponibilidade operacional e de análise de risco remete para a observação da Teoria dos Conjuntos Difusos no tratamento analítico desta incerteza e da sua propagação aos índices de desempenho e medidas de risco (denominado no anglicismo técnico *Fuzzy Markov Extension* e *Fuzzy Risk Analysis*, respectivamente) [Binh & Khoa, 2006; Cugnasca et al., s.d.; Hanss, 1999; Lee & Chen, 2007].

Pese embora tudo quanto anteriormente se disse, o valor da informação gerada por quadros *FMECA* (I. *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) detalhados e bem desenvolvidos será sempre limitado a menos que seja de facto seguida por acções de tratamento para ambas as classes de criticidade de risco tolerável e inaceitável [Pires, 1999]. A adaptação do princípio geral do procedimento administrativo respeitante à proporcionalidade dos controlos face aos Números de Prioridade de Risco (I. *RPN*) é exercida através do conceito de tolerância para com um nível de risco que porventura tornar-se-á Tão Baixo Quanto Racionalmente Praticável (o acrónimo *ALARP*) pela inclusão de medidas compatíveis com o patamar tecnológico das empresas e em relação às melhorias previstas. Noutras situações classificadas de risco excessivo e inaceitável, aqueles a quem a lei confere deveres especiais vêem-se na contingência de ter que assumir as melhores práticas do sector e implantar os controlos mais adequados e inovadores em matéria de segurança [Morais, 2005; Richthofen, 2002].

Os graus de criticidade correspondem simplesmente a medidas de risco essenciais para uma boa orientação do esforço de supervisão [Kuchta, 2001]. A monitorização apertada dos sinais que mostram a degradação progressiva de certas características funcionais de componentes e equipamentos críticos e o registo fiel das inspecções periódicas criteriosamente levadas a cabo, a par de outras propostas de revisão das políticas de reparação e gestão dos materiais que não devem deixar de ser incluídas numa lista de controlos, favorecem claramente o planeamento das intervenções (maioritariamente correctivas) para os tempos mortos mais vantajosos e que nem sempre vemos bem aproveitados nos sistemas com mecanismos de tolerância a falhas [Crowe, Dana et al., 2001].

Neste caso, a simplicidade do problema tecnológico permite apreciar sem grande interferência o alcance das matérias que importa aqui explorar (acreditando que a situação não será assim tão diversa dentro do tecido empresarial português de pequena e média dimensão) e leva-nos a crer que o maior contributo da engenharia consiste na capacidade de ouvir os principais utilizadores, organizar esse precioso conhecimento empírico à luz das ferramentas e métodos de trabalho próprios e retribuir certamente com recomendações técnicas confiando na justeza das soluções de compromisso usuais.

Ao longo do próximo capítulo iremos debater aspectos preliminares mas que ao mesmo tempo se mostram cruciais, ligados à construção dos modelos de suporte e de análise de risco, com vista a identificar, seleccionar e traduzir nos modelos de Markov somente aquelas características físicas e condições operacionais que definem o comportamento global dos principais processos fabris. Entre os temas analisados sobressaem nomeadamente as questões relacionadas quer com a parametrização e introdução de aproximações e simplificações na estrutura dos modelos, quer ainda com o efeito acentuado das condições de exploração locais numa certa ambiguidade das estimativas e também as suas implicações ao nível da selecção de cenários para o ambiente

técnico da manutenção, bem como as peculiaridades da condução de um *FMECA* num contexto de elevada incerteza e escassez de dados de fiabilidade.

No terceiro capítulo desenvolver-se-á a partir das Cadeias de Markov de Tempo Contínuo uma abordagem sistémica orientada pelos principais processos produtivos e de suporte ao problema da avaliação global da disponibilidade operacional da planta fabril que nos permitirá depois obter a frequência de visitas e o tempo de permanência nos diferentes estados percorridos pelos vários subsistemas, por intermédio da aplicação das conhecidas Técnicas de Frequência e Duração [Billinton & Allan, 1983]. Estas medidas de desempenho adicionais formam um elemento decisivo na avaliação dos custos de indisponibilidade em regime estacionário. Será também apresentada uma técnica de análise estrutural com o intuito especial de questionar o valor acrescentado de determinadas redundâncias para a disponibilidade operacional do sistema, sabendo de antemão que existe um custo de posse associado a cada equipamento e até que ponto isso não significa um desperdício de recursos escassos. Por fim, teremos ainda a ocasião de realizar um exercício de extensão ao modelo de fiabilidade clássico, utilizando para o efeito um processo fabril descrito por uma simplificação da Linha 3, onde se pretende ilustrar uma metodologia que através da Teoria dos Conjuntos Difusos permite incluir de forma generalizada a incerteza que normalmente acompanha as variáveis de *input* nas expressões analíticas das medidas de desempenho.

Finalmente, no quarto e último capítulo apresentam-se as principais conclusões deste projecto e as perspectivas futuras de extensão e desenvolvimento.



## Modelos de Suporte e de Análise de Risco

A construção dos modelos dinâmicos de avaliação da disponibilidade operacional obriga a uma demarcação nítida e antecipada das fronteiras do sistema sob observação e também a um certo grau de familiarização prévia com as relações funcionais e de interdependência funcional e de fiabilidade dos múltiplos perfis de missão eventualmente existentes, ou seja, com a sequência detalhada das operações fabris e do seu rigoroso papel no âmbito das especificações técnicas e dos requisitos legais do sistema, bem como dos modos de falha principais e do seu impacto hierárquico do ponto de vista dos sistemas reparáveis com mecanismos de tolerância a falhas e por último, o levantamento das respectivas frequências de falha e tempos técnicos de reparação ou, mais precisamente, dos tempos de indisponibilidade ou reposição, dependendo do estágio de evolução pontual da função Manutenção e das suas políticas de reparação.

À medida que o entendimento dos contornos técnicos e tecnológicos do sistema cresce e adquire a devida consistência pode iniciar-se um processo iterativo de aperfeiçoamento dos Diagramas Bloco de Fiabilidade e de condução de uma Análise Modal de Falhas e seus Efeitos, conjugando preferencialmente um esquema de decomposição *top-down* (ou de cima para baixo) do sistema complexo nos seus principais processos produtivos e de suporte com uma outra abordagem dita de *hardware* (ou de baixo para cima) de avaliação do impacto hierárquico dos modos de falha mais significativos [Morais, 2005; Ponnamballam & Alguindigue, 1998].

Alguns destes diagramas funcionais e de fluxo de matérias e informação servem unicamente um propósito ilustrativo enquanto outros, apesar de conterem representações matemáticas parciais, não são suficientemente completos (ou melhor, dificilmente conseguem retratar a dependência natural que subsiste entre os blocos em virtude do transporte sucessivo das condições finais de vida de um estado para o seguinte ou, por outras palavras, em função do ajuste gradual das probabilidades de estado). Dessa forma apenas permitem uma modelação e avaliação numérica aproximadas dos estados de funcionamento degradado do sistema e carecem ao mesmo tempo da inclusão de notações descritivas adicionais. Os diagramas de estado por seu turno contornam estes problemas com relativa facilidade e são sem dúvida mais rigorosos uma vez que admitem a representação de outros estados (para além da orientação convencional dos Diagramas Bloco de Fiabilidade e das Árvores de Falhas para o sucesso das missões ou combinação de eventos básicos e intermédios que concorrem para um acontecimento de topo indesejável) e traduzem

convenientemente a verdadeira dependência entre as falhas dos componentes e o desempenho do sistema [Pukite, 1998].

Os quadros *FMECA* são reconhecidamente uma ferramenta de análise poderosa e proporcionam tipicamente toda a informação relevante para a tradução das características físicas e condições operacionais determinantes do comportamento global ou pormenorizado do sistema nos Modelos de Markov (i.e. identifica o conjunto dos factores de risco presentes na planta fabril, igualmente designados por factores críticos de missão, e fornece as respectivas taxas de transição entre os estados operacionais, de funcionamento degradado e de falha) ajudando em simultâneo a expor e a resolver os pontos fracos do projecto de concepção original e ainda a prevenir a propagação de falhas [Crowe, Dana et al., 2001].

## 2.1 Diagramas Funcionais e de Fluxo de Matérias e Informação

Os Diagramas Bloco de Fiabilidade (tal como as Árvores de Falhas) pertencem ao chamado grupo dos modelos combinatórios de fiabilidade. Dado o seu forte pendor para uma abstracção de alto nível do sistema, além da simplicidade de utilização, são largamente adoptados como ponto de partida para a análise de fiabilidade, não obstante evidenciarem sérias limitações quer do ponto de vista da representação das intervenções de reparação e manutenção quer ainda dos aspectos de reconfiguração dinâmica dos processos. Por outro lado, é importante frisar que as técnicas de análise combinatória baseiam-se num conjunto bem delimitado de operações lógicas conhecidas como Álgebra Booleana e em três outras premissas, designadamente: a limitação da vida dos componentes a estados operacionais (ou de falha); a rigidez das configurações durante o desenrolar do perfil de missão; e a indiferença da fiabilidade do sistema perante a sequência exacta das falhas [Pukite, 1998].

### 2.1.1 Aproximações e Simplificações do Modelo de Fiabilidade

Os sistemas em paralelo representados na Figura 2.1 incluem tanto circuitos verdadeiramente alternativos para o cumprimento de uma única operação (veja-se o caso das redundâncias activas totais constituídas quer por prensas quer por digestores semelhantes) bem como circuitos "quase-independentes" para o cumprimento integral de múltiplas missões ou apenas um dos seus segmentos, admitindo-se nestas duas últimas situações a inversão da perspectiva de fiabilidade dos diagramas funcionais, ou seja, aceita-se que a falha de qualquer um dos seus ramos poderá corresponder actualmente a uma falha parcial ou total da linha de transformação, dependendo em cada caso da viabilidade técnica da presença de acumuladores ou da maior ou menor relação de independência do fluxo de matérias e operações. Por exemplo, a falha do circuito da farinha a jusante do paralelo de prensas implica naturalmente a paragem do circuito da gordura dada a elevada taxa de processamento conjunto ( $10 \text{ t.h}^{-1}$ ), enquanto no início da linha o adiamento da incorporação das matérias mais grosseiras acarretará sempre uma perda

(económica, técnica ou ambiental) associada à indisponibilidade da pré-trituradora, logo que se atinja o balanceamento da produção. Por seu turno, os blocos destacados a negrito equivalem aos componentes/equipamentos tidos como críticos do ponto de vista do sucesso das missões.

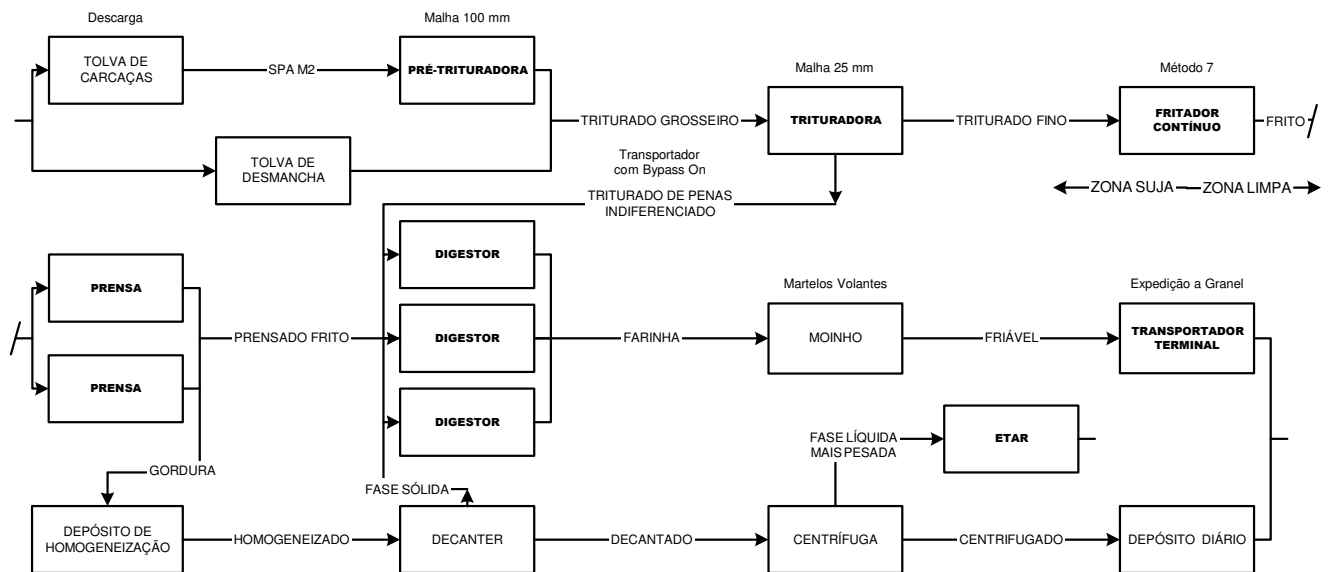


Figura 2.1: Diagrama de Fluxo de Matérias e Informação da Linha 1 (Resíduos+Gordura) M2

Esta figura constitui um exemplo concreto das limitações dos Diagramas Bloco de Fiabilidade na tradução da dependência efectiva entre as falhas dos circuitos e o desempenho das linhas de transformação. Notar também a referência implícita feita no parágrafo anterior a outras restrições típicas, nomeadamente a própria questão da diminuta capacidade de auto-documentação e a limitação dos estados. Operadas as devidas adaptações, o mesmo tipo de raciocínio é extensível aos restantes processos ou subsistemas fabris. O conjunto completo de diagramas funcionais e de fluxo de matérias e informação encontra-se disponível no Anexo A.

### 2.1.2 Parametrização dos Modelos de Fiabilidade e Manutenibilidade

Depois de analisado o esboço da estrutura orgânica da fábrica e seguindo o rasto das linhas gerais avançadas na secção anterior, deve subir-se um degrau na pirâmide de análise e decisão e abandonar provisoriamente certos detalhes operacionais reorientando a atenção para os temas estratégicos, tais como: a criticidade das falhas; a obsolescência de processos ou, pelo contrário, o interesse de uma eventual reconfiguração; a aposta na melhoria da fiabilidade, manutenibilidade e segurança dos equipamentos e operações críticas; e por fim, o acerto da capacidade produtiva nominal pela disponibilidade operacional.

As Figuras 2.2 e 2.3 servem neste ponto para ilustrar algumas regras básicas a observar durante o exercício de transferência dos resultados da Análise Modal de Falhas e seus Efeitos para os modelos geral e resumido (ou completo e simplificado) de fiabilidade.

Inicialmente identificam-se os componentes/equipamentos críticos destacando-os a negrito em todos os diagramas funcionais. Uma vez na posse destes elementos, procede-se à integração dos processos produtivos e de suporte observando de perto a orgânica fabril ou, recorrendo a uma expressão clássica, o fluxo de materiais e operações. Nesta fase do trabalho a construção do modelo geral de fiabilidade deverá constituir essencialmente uma tarefa de rotina, em especial após a armação do intrincado sistema de comando e controlo, embora o mesmo já não seja válido em relação ao modelo resumido.

A modelação de sistemas complexos envolve consecutivamente a aplicação de uma estratégia a dois tempos de decomposição e integração dos processos fabris e ainda, a redução do número de blocos, apoiada naturalmente em simplificações e aproximações razoáveis, caso contrário dá-se uma explosão de estados e o analista poderá ver-se facilmente submerso por um elevado número de equações. Daí o cuidado em só seleccionar e traduzir nos Modelos de Markov os aspectos determinantes do comportamento do sistema nos planos macro ou micromecânico. Por outro lado, a definição dos estados depende tanto da configuração específica dos equipamentos disponíveis (ou seja, a presença de elementos em série e/ou paralelo) bem como das próprias regras operacionais (incluindo a capacidade individual ou o grau de redundância e a consistência com a definição de falha do sistema) e também de segurança (ou, melhor, da consonância com as categorias de severidade das falhas). E talvez aqui, mais do que em qualquer outro ponto, um bom planeamento do trabalho pode ajudar a reproduzir correctamente a efectiva margem de progressão inaugural dos vários subsistemas ao nível da disponibilidade operacional (segundo dois cenários do ambiente técnico designados por nominal e projectado) e evitar a duplicação de esforços. Na prática é necessário dispor de uma maior atenção e paciência na construção dos modelos à medida que a complexidade dos processos cresce.

A taxa de falhas de sistemas-série compostos por  $n$  elementos é igual à soma das respectivas taxas de falha individuais (em número de falhas/hora):

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.1)$$

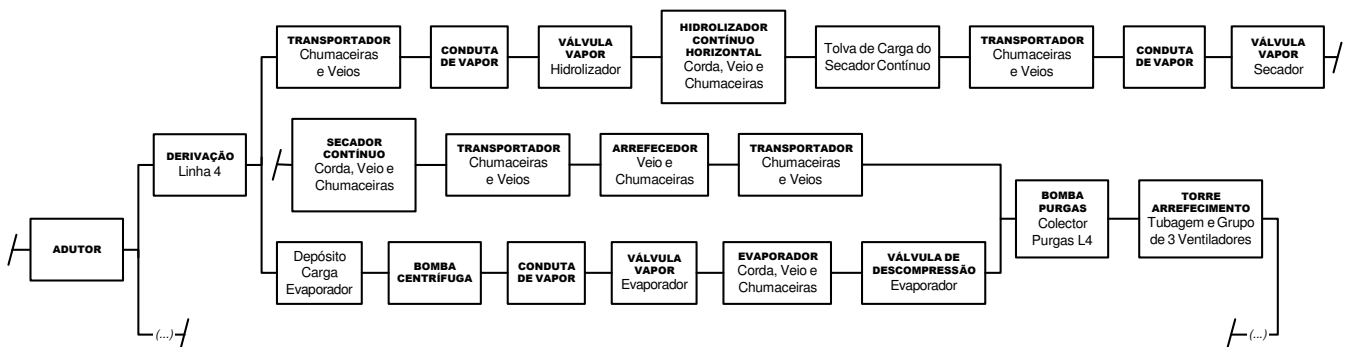


Figura 2.2: Inserção do Modelo Completo de Fiabilidade (Linha 4: Penas M3)

A taxa de reparação de sistemas-série compostos por  $n$  elementos corresponde ao inverso da soma ponderada dos tempos técnicos de reparação individuais pela contribuição das respectivas taxas de falha para a taxa de falhas soma (em número de reparações/hora) [Assis, 2004]:

$$\mu_s = \left( \sum_{i=1}^n TTR_i \times \frac{\lambda_i}{\lambda_s} \right)^{-1} \quad (2.2)$$

A inserção da Figura 2.2 não é absolutamente inócua ou, melhor, assiste ao mesmo tempo na ilustração do cálculo das taxas de falha e reparação e das operações Booleanas usadas nas simplificações e aproximações do modelo de fiabilidade.

É provável que o leitor já tenha reparado nos locais de trabalho por si visitados que nem sempre as ligações eléctricas ou mecânicas se encontram devidamente compartimentadas ou isoladas em módulos distintos, ou seja, às vezes acontecem partilhas indesejáveis do ponto de vista da propagação de falhas. Ora, é precisamente esse o caso do Evaporador da Linha 2 que na prática só partilha com o Secador Contínuo da Linha 4 uma Torre de Arrefecimento (isto é, o circuito de depuração dos vapores orgânicos) mas no papel terá forçosamente de partilhar os restantes subsistemas de suporte (ou seja, os circuitos de produção de vapor, purga e reciclagem de condensados) sob pena de "torcer" o modelo e violar a condição de independência (artificial) dos blocos.

Acontece porém que o impacto hierárquico de qualquer falha neste equipamento vai pouco mais além dele próprio, ou seja, trata-se unicamente de um estado de funcionamento degradado das Linhas. Por outro lado, uma falha em qualquer elemento dos Troncos Comuns G ou J afecta severamente a operacionalidade dessas Linhas de Transformação e parcialmente o sistema mas só em último grau o referido Evaporador. Quer dizer, na prática é indiferente colocá-lo aqui ou ali. E daí resulta uma liberdade condicional para efectuar principalmente as operações Associativa, Distributiva e Comutativa.

### 2.1.3 Ambiente Técnico, Ambiguidade das Estimativas e Selecção de Cenários

Na Figura 2.3 as taxas de falha inscritas em primeiro plano correspondem essencialmente a valores referentes ao cenário realista do ambiente técnico da manutenção (uma vez que nalguns casos os valores relativos ao cenário "optimista" são a consequência imediata da política de adiamento das intervenções e pertencem antes a um quadro de funcionamento degradado levado até ao limite da segurança dos bens). Em segundo plano inserem-se dois tipos de taxas de reparação: uma encontra-se indexada aos tempos de reposição e a outra que difere somente da anterior por uma linha, aos tempos de indisponibilidade, ou seja, equivalem a verdadeiras taxas de reposição e reparação, agora propriamente dita, e dizem respeito nomeadamente aos valores dos cenários optimista e realista para as mais expressivas políticas e famílias técnicas de manutenção, isto é, as políticas de substituição planeada de componentes e rotáveis, apoiadas

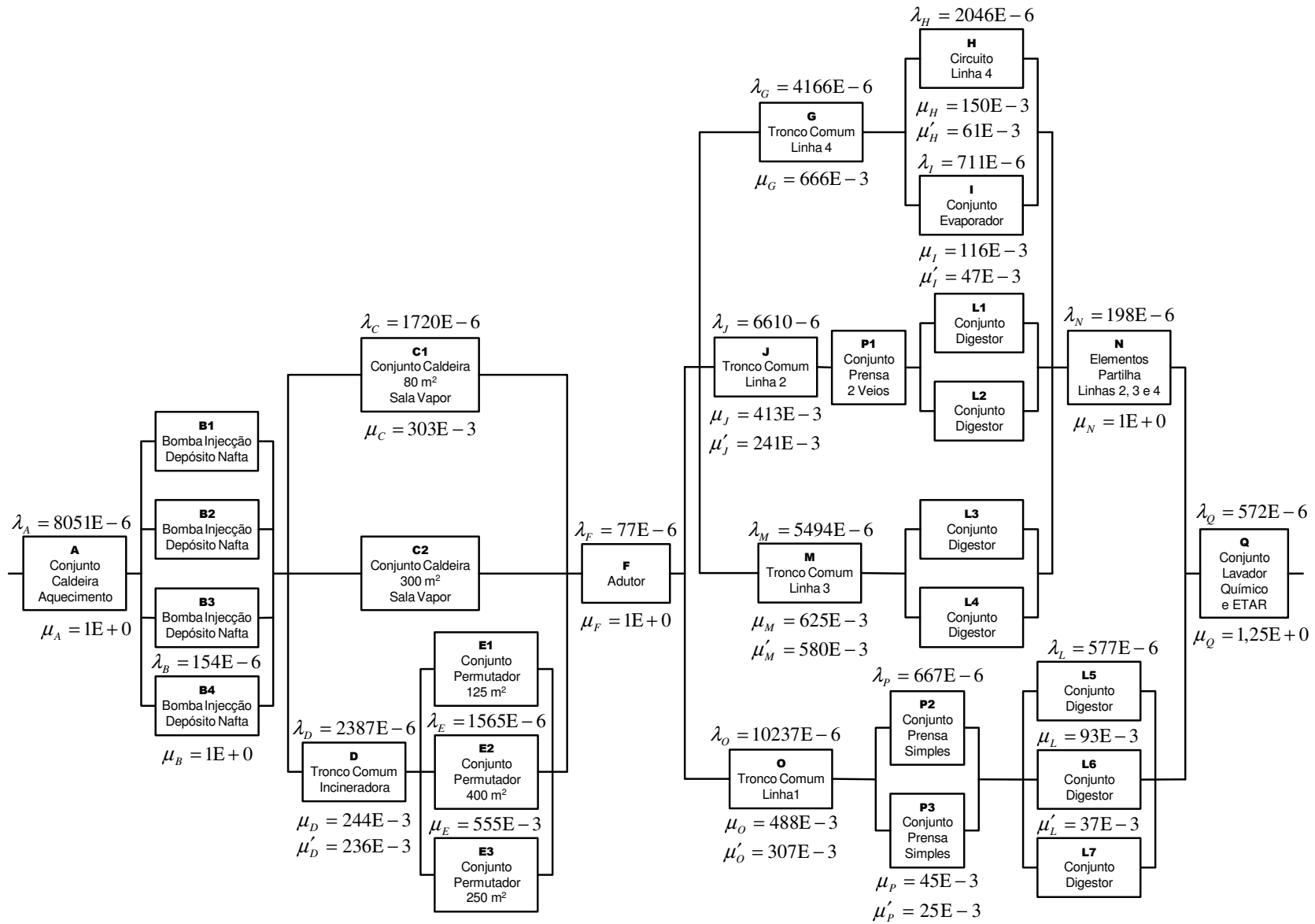


Figura 2.3: Modelo Simplificado de Fiabilidade

respectivamente na preparação prévia quer dos veios de reserva de Transportadores e Arrefecedores quer ainda dos veios sobresselentes de Digestores e Prensas, por oposição a uma outra assente nos tempos de corte e soldadura de emergência. Basicamente é feita uma aposta na transformação do trabalho interno mais lento em trabalho externo e na redução substancial dos tempos mortos aguardando assistência administrativa e logística (*vide* Tabela 2.1 e Anexo B para aceder à Base de Dados).

Os cenários ditos nominal e projectado representam dois subconjuntos especiais dos cenários originais e derivam por um lado da interpretação própria do estado actual da empresa e por outro, da total concordância com o grau de confiança absoluto dos especialistas no cenário optimista. Este quadro servirá fundamentalmente e em primeira mão para informar o decisor da magnitude dos valores encontrados e da economia gerada pelo programa de melhorias que no essencial se confunde com a promoção das medidas mais urgentes para o ambiente técnico da manutenção (de acordo com a definição apresentada na secção anterior). Sublinhe-se que em bom rigor esta margem de progressão inaugural corresponde simplesmente a uma estimativa por defeito para o acréscimo de disponibilidade operacional, dado que o efeito sinérgico das acções previstas de redução de riscos ao nível da melhoria da fiabilidade não está contemplado nas simulações; tal como outros benefícios que advêm do fortalecimento da imagem interna e externa da empresa, da abolição das coimas e penalizações fruto do cumprimento escrupuloso dos prazos de entrega, especificações técnicas e requisitos legais.

Em virtude da presença de uma inegável ambiguidade e até mesmo uma certa contradição entre os valores das estimativas, designadamente aquelas referentes aos tempos de funcionamento dos componentes/equipamentos críticos, iremos apresentar uma metodologia na Secção 3.5 que através da aplicação da Teoria dos Conjuntos Difusos permite incluir esta incerteza nos modelos analíticos das medidas de desempenho dos principais processos fabris [Nunes et al., 2006].

BASE DE DADOS DE FIABILIDADE				
Factores de Risco	Parâmetros Básicos	Cenários do Ambiente Técnico da Manutenção		
(Item/Evento)	de Fiabilidade	Pessimista	Realista	Optimista
1. chumaceiras/transportadores:	Time To Failure (TTF)	1,5 meses	<b>12 meses</b>	18 meses
<u>gripagem do rolamento ou</u>	Maintenance Down Time (MDT)	3,5 horas	<b>2 horas</b>	1 hora
<u>relaxamento por fadiga mecânica</u>	Restore Time (RT)	—	—	<b>1 hora</b>
2. veios e roscas/transportadores:	TTF	18 meses	<b>24 meses</b>	36 meses
<u>desgaste acentuado ou rotura</u>	MDT	3 dias	<b>5 horas</b>	1,5 horas
<u>fractura por fadiga mecânica</u>	RT	4 horas	<b>2 horas</b>	1,5 horas
3. martelos fixos/	Time Between Maintenance (TBM)	60 meses	36 meses	<b>12 meses</b>
família dos trituradores: <u>desgaste</u>	MDT	—	2 dias	4 horas
<u>acentuado e rotura/fractura de martelos</u>	RT	—	—	<b>4 horas</b>
4. corda de empanque grafitada/família	TBM	12 meses	<b>8 meses</b>	6 meses
dos digestores: <u>desgaste acentuado</u>	MDT	4 horas	<b>2 horas</b>	1 hora
<u>ou assimétrico ou, ainda, obstrução</u>	RT	—	—	<b>1 hora</b>

BASE DE DADOS DE FIABILIDADE (Cont.)				
Factores de Risco (Item/Evento)	Parâmetros Básicos de Fiabilidade	Cenários do Ambiente Técnico da Manutenção		
		Pessimista	Realista	Optimista
5. chumaceiras/família dos digestores:	TBM	36 meses	<b>24 meses</b>	12 meses
gripagem do rolamento, obstrução	MDT	3 semanas	<b>6 dias</b>	<b>2 dias</b>
ou relaxamento por fadiga mecânica	RT	10 horas	5 horas	3 horas
6. veios/	Time Between Failures (TBF)	36 meses	<b>48 meses</b>	60 meses
família dos digestores:	MDT	3 semanas	<b>6 dias</b>	2 dias
desalinhamento	RT	—	—	<b>2 dias</b>
7. chumaceiras/arrefecedores:	TTF	24 meses	<b>36 meses</b>	48 meses
gripagem do rolamento, obstrução	MDT	3 horas	1 hora	30 minutos
ou relaxamento por fadiga mecânica	RT	—	<b>1 hora</b>	—
8. veios/	TTF	5 anos	<b>8 anos</b>	10 anos
arrefecedores:	MDT	2 semanas	5 dias	1 dia
desalinhamento	RT	—	—	<b>1 dia</b>
9. réguas de filtragem/	TBM	—	<b>6 meses</b>	—
família das prensas:	MDT	—	1 dia	—
desgaste acentuado	RT	—	<b>1 dia</b>	—
10. veios, roscas e macaco hidráulico/	TBF	6 meses	<b>9 meses</b>	12 meses
família das prensas:	MDT	5 dias	<b>4 dias</b>	36 horas
desgaste acentuado e obstrução	RT	—	—	<b>36 horas</b>

Tabela 2.1: Inserção da Base de Dados de Fiabilidade (Famílias Técnicas Mais Expressivas)

## 2.2 Análise Modal de Falhas e seus Efeitos

Os quadros *FMECA* estimulam a adopção de um procedimento formal de avaliação e controlo sistemático de riscos associados à concepção ou redimensionamento de produtos e processos fabris e constituem um bom exemplo de um método especificamente talhado para a área da Fiabilidade. Trata-se igualmente de uma ferramenta de análise que necessita de uma abordagem multidisciplinar e por isso ajuda a fomentar um espírito de equipa forte que por seu turno, deverá destacar os aspectos do programa ou ciclo de desenvolvimento que podem correr mal, ainda que as especificações técnicas e os requisitos legais sejam satisfeitos [Crowe, Dana et al., 2001].

Em particular, todos os modos de falha principais relativos a um dado componente/equipamento devem ser antecipados e os seus efeitos ou o seu impacto hierárquico avaliado até ao nível mais geral do sistema. Os mecanismos de falha ou as causas por detrás dos modos de falha mais significativos devem ser analisadas e definidas em termos clássicos para melhor evidenciar as eventuais debilidades do projecto inicial. Pelo contrário, a robustez da concepção original reside na capacidade dos meios de controlo existentes prevenirem a ocorrência dos mecanismos de falha ou, também, na sua habilidade em detectar as causas e despoletar as acções correctivas devidas em tempo útil.

No intuito de facultar uma análise comparativa dos inúmeros riscos que afectam os projectos industriais foi originalmente incorporado nos quadros *FMECA* um conjunto de três índices que



permitem quantificar a Severidade, a probabilidade de Ocorrência e a Detectabilidade dos modos de falha individuais ou combinações de causas e modos de falha. O produto destes três índices é vulgarmente conhecido pelo acrónimo *RPN* ou por Número de Prioridade de Risco. Tal como o nome indica, estabelece uma ordem de prioridade pela qual devem ser atendidas as acções de tratamento (neste caso concreto, a alteração da filosofia de reparação e o esforço de supervisão) delineadas para reduzir os níveis de risco inaceitáveis até aos valores de criticidade tolerável e estes Tão Baixo Quanto Racionalmente Praticável.

Estas acções de redução de riscos devem ser implementadas sempre que o *RPN* ultrapassar certos valores predeterminados numa escala de criticidade que normalmente oscila entre 1 e 1000 (*vide* Figura 2.4). No caso dos *FMECA* aos meios de produção, Pires [1999] apresenta para cada índice uma escala de classificação com apenas 4 categorias individuais, contra a habitual graduação das escalas de 1 a 10. Na prática, as escalas com mais classes facilitam a atribuição de uma cotação equilibrada aos factores de risco presentes na planta fabril (*vide* Tabelas 2.2 a 2.4).

Depois de efectuada a ordenação dos graus de criticidade (*vide* Figura 2.5), a estratégia de redução de riscos deve incidir preferencialmente sobre a apetência dos órgãos para receber as acções de reparação e manutenção, isto é, deve visar a diminuição do índice de Severidade, dado que este se exprime em termos de indisponibilidade operacional, em detrimento de uma aposta exclusiva na melhoria do índice de Detecção. Este procedimento possui ainda um efeito sinérgico ao nível da diminuição da probabilidade de Ocorrência de falhas, no entanto, o crescimento da fiabilidade também pode ser alcançado directamente através de alterações ao projecto inicial, tais como a introdução de redundâncias e o redimensionamento ou a eliminação de componentes sub-*standards*. Saliente-se igualmente que para igual valor de *RPN*, os modos de falha que denotarem um maior índice de Severidade devem ser objecto de intervenção prioritária.

Categorias	Crítérios de Severidade	Classificação (1-10)
Alto	O cliente (seguinte) mostra uma profunda insatisfação dada a natureza da falha, como a indisponibilidade de uma função principal (ex. Trituradores).	8
Alto a Moderado	Também pode ser motivada pela indisponibilidade de uma função de depuração (ex. Torres de Arrefecimento) desde que não envolva aspectos de segurança.	7
Moderado	A ocorrência (ex. indisponibilidade de Digestores ou Linhas de Transformação) é motivo de insatisfação para o cliente (seguinte).	6
Moderado a Baixo	O cliente (seguinte) mostra um certo desconforto ou aborrecimento com a falha (i.e. requer no mínimo uma acção correctiva de emergência).	5

Tabela 2.2: Índices de Severidade (Adaptado de Crowe, Dana et al., 2001)

Taxa de Falhas	Probabilidade de Ocorrência	Classificação (1-10)	Ocorrência por Unidade de Tempo
Moderada	Falhas ocasionais	6	1 em 80 (1,25%)
		5	1 em 400 (0,25%)
		4	1 em 2.000 (0,05%)
Baixa	Relativamente poucas falhas	3	1 em 15.000 (66.6 ppm)
		2	1 em 150.000 (6.66 ppm)

Tabela 2.3: Probabilidade de Ocorrência e N.º Falhas por 10<sup>6</sup> Horas (Adaptado de Crowe, Dana et al., 2001)

Categorias	Crítérios de Detecção	Classificação (1-10)
Baixo	O esforço de supervisão dificilmente consegue detectar o mecanismo de falha	(8)
	(i.e. o modo de falha está sem controlo mas não envolve aspectos de segurança).	7
Moderado	—	(6)
	A supervisão consente deliberadamente a cascata de impedimentos.	5
Alto	A supervisão deixa involuntariamente que o modo de falha ocorra.	4
	A supervisão deixa voluntariamente que o modo de falha se declare.	3
Muito Alto	A supervisão mostra uma preocupação notória e bem sucedida de prevenção do modo de falha.	2
		(1)

Tabela 2.4: Índices de Detecção (Adaptado de Crowe, Dana et al., 2001)

As Figuras 2.4, 2.5 e 2.6 apresentam uma "radiografia" actual da fiabilidade e manutenibilidade fabris. Pires [1999] indica nomeadamente a representação gráfica em forma de Histograma por facilitar o seguimento de melhorias posteriores. Nessa figura exibem-se as observações de RPN agrupadas por classes de criticidade de risco com uma amplitude de 10 unidades.

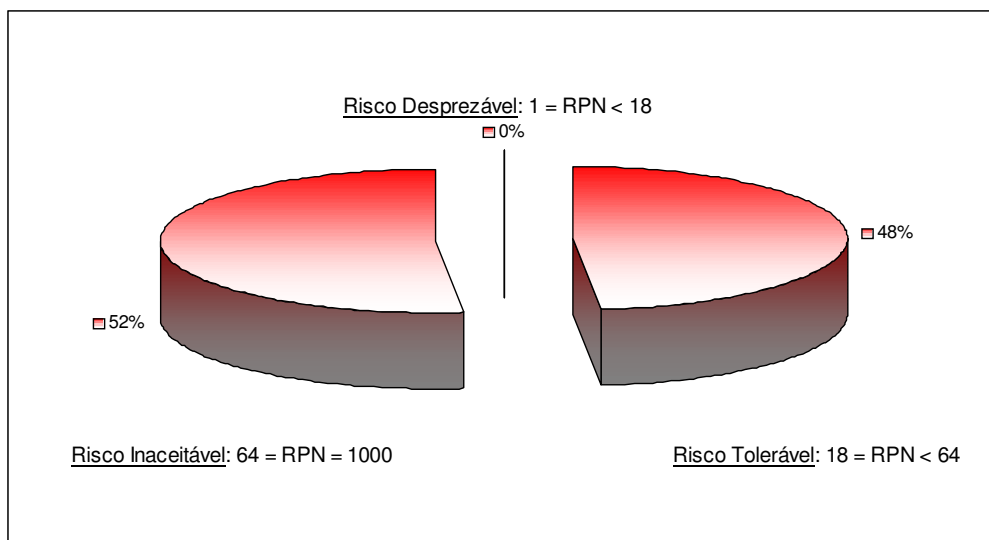


Figura 2.4: Diagrama Circular da Proporção de RPN por Classes de Criticidade de Risco

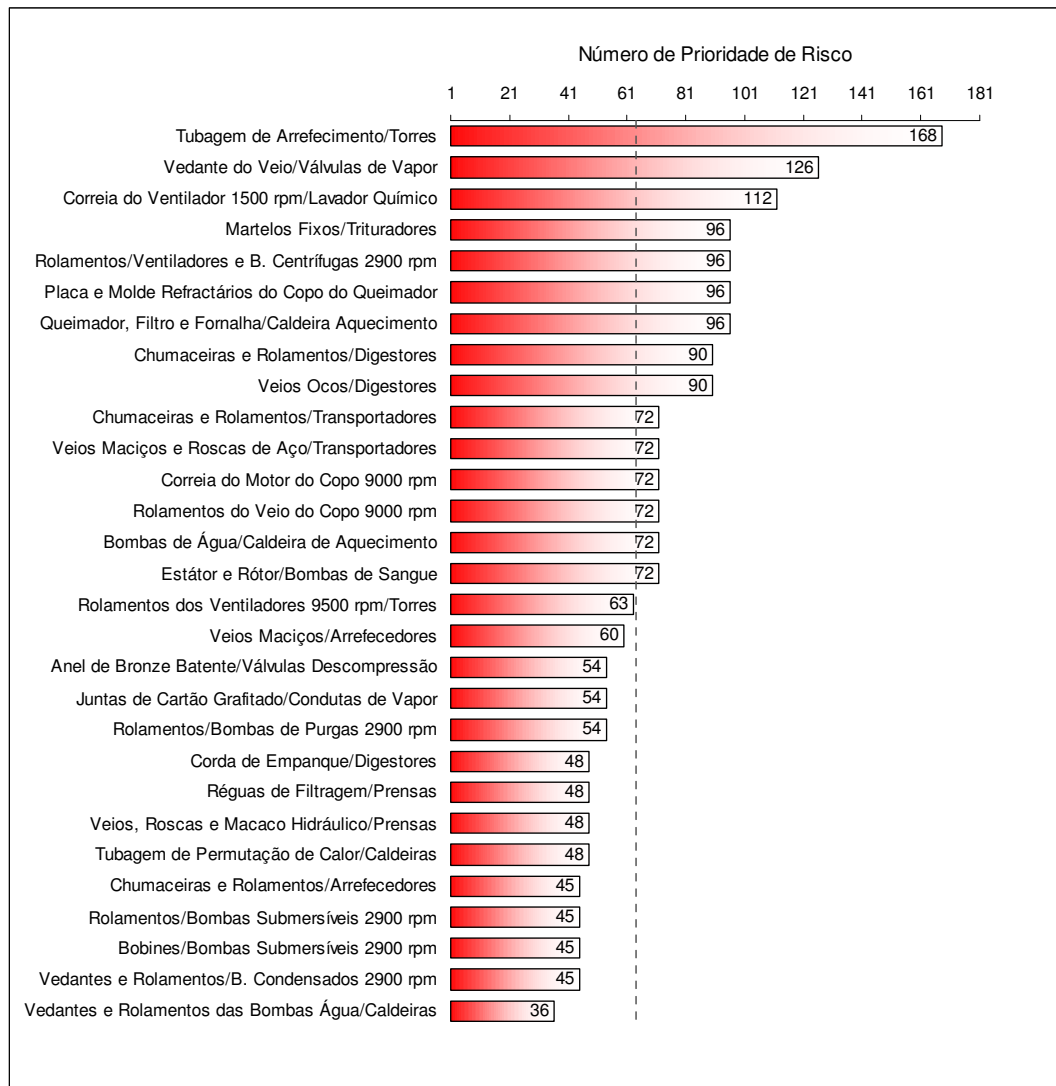


Figura 2.5: Observações de RPN por Equipamentos/Componentes Críticos

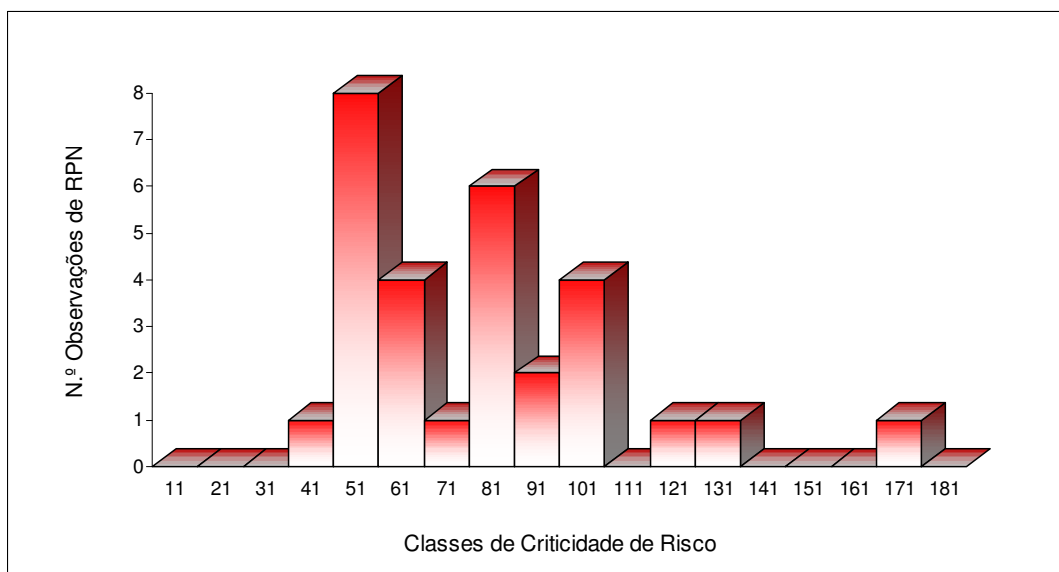


Figura 2.6: Histograma do Efectivo de RPN por Classes de Criticidade de Risco

### 2.2.1 Elaboração de um *FMECA* num Contexto de Elevada Incerteza

Recorrendo a uma analogia com os fundamentos das Cartas de Controlo e a Análise de Dados do Passado talvez seja conveniente numa primeira fase das entrevistas com os peritos "deixar o processo falar de si mesmo", tendo apenas o cuidado de aflorar as palavras-chave relacionadas com os quadros *FMECA* e as variáveis de *input* para criar uma base de entendimento mútuo e definir o âmbito das conversas. Esta estratégia tem duas vantagens: primeiro, permite captar logo nas sessões de trabalho iniciais o quadro actual do ambiente técnico e a margem de progressão real das políticas de reparação; segundo, favorece a independência do analista e a interpretação e revisão das observações antes do lançamento do programa de melhorias (cf. Tab. 2.1 e 2.5).

Em programas de desenvolvimento tecnológico especialmente complexos abrangendo diversas áreas do conhecimento a Lista de Controlos serve principalmente para encaminhar os projectos de melhoria decididos em sessões de *brainstorming* de reconhecimento preliminar da incidência genérica de riscos por Círculos *ad hoc* de especialistas. Nas UTS a tecnologia do processo fabril é meramente evolutiva e a aplicação também não é seguramente nova. Só assim se explica ser somente necessário um grau de inovação baixo no programa de melhorias para neutralizar em boa medida riscos moderados. Contudo, a Lista de Controlos pode ainda proporcionar uma súmula dos elementos mais importantes para o esforço de supervisão e não deixa de constituir um instrumento de consulta rápida em situações normais de laboração, dado que em função da natureza agregada da informação disponível para as diferentes combinações de causas e modos de falha (por vezes múltiplas) os quadros *FMECA* perdem um tudo-nada da sua maleabilidade original em ambiente fabril, embora exista todo o interesse em colocar esse material à disposição dos operadores para que possam manter a frieza durante o despiste dos mecanismos de falha ou para a orientação inicial de novos trabalhadores (*vide* Tabelas 2.5 e 2.6).

Particularmente graves neste domínio são as interrupções do fornecimento da energia eléctrica pela tensão psicológica exercida sobre o pessoal de turno e a sobretensão eléctrica gerada no momento do rearranque do processo de transformação, sobretudo quando este se encontra em fase de secagem e o binário resistente das máquinas ultrapassa largamente a potência nominal dos motores. Nestas situações todo o engenho dos operários se exprime de forma dramática sob o espectro da electrocussão. Sem esquecer o desgaste acelerado dos órgãos e a deterioração do revestimento dos cabos, transformando a instalação de um gerador numa elementar medida de segurança de pessoas e bens ou, então, inundar as câmaras de esterilização sempre que tal aconteça para usufruir da força de impulsão da água e reiniciar a fase de secagem.

Além disso não basta especificar conteúdos funcionais e responsabilidades, é preciso organizar melhor as tarefas: curiosamente, se adoptarmos um sistema de classificação natural assente no intervalo de tempo entre as acções de supervisão obtemos quase de imediato um agrupamento por tipo de operação (*vide* Tabela 2.7 e Anexo C para aceder a *FMECA* e Lista de Controlos).

## Modelos de Suporte e de Análise de Risco

FMECA nº. 12

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: Torres de Arrefecimento (Grupos Aerocondensadores)

Data de Preparação: 07.07.08

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
tubagem de arrefecimento: condensação dos vapores orgânicos (i.e. transferência de massa dos contaminantes para a ETAR)	entupimento	intervenção correctiva não planeada (ex. desobstrução de emergência) ou preventiva sistemática (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve <= lavagem e aperto <u>quinzenal</u> das juntas dilatadas)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	7	operação de carga das máquinas sob tensão psicológica (i.e. saturação das câmaras de esterilização) motivada por um desfasamento entre procura (carga) e capacidade, i.e. um tempo de ciclo superior à cadência dos clientes (tempo de <i>takt</i> )	6	acerto visual do nível de enchimento das máquinas e observação de comportamentos atípicos das fases de hidrólise (i.e. oscilações súbitas e ligeiras) e descompressão (i.e. decaimento lento) nos painéis de controlo dos autómatos	4	168	<u>classe de risco inaceitável:</u> (stress excessivo e inaceitável) combinar qualidade, custo e entrega (i.e. capacidade operacional instalada e disponível em cada momento) e facilitar os meios técnicos e humanos adequados ao nível de desempenho esperado das funções produção e manutenção; e instituir um procedimento <u>quinzenal</u> documentado de cuidados gerais de limpeza

Tabela 2.5: Inserção do Quadro FMECA nº 12 (Torres de Arrefecimento)

## Modelos de Suporte e de Análise de Risco

LISTA DE CONTROLOS (I. WATCHLIST)		
Risco (Item/Evento)	Faceta (Área de Impacto)	Ação de Tratamento
1. chumaceiras/transportadores:  gripagem do rolamento ou  relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade  (custos e programação da produção, por via indirecta)	RPN=72 (risco inaceitável): evitar ao máximo o retardamento das intervenções, manter um stock adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do grupo moto-reductor e vibração dos rolamentos das chumaceiras
2. veios e roscas/transportadores:  desgaste acentuado ou rotura/  fractura por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=72 (risco inaceitável): alargar o stock de peças de substituição a todas as famílias de comprimento (4, 5 e 6 m) a fim de evitar as operações de corte e soldadura de emergência e instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da espessura e resistência dos materiais
3. martelos fixos/  família dos trituradores: desgaste  acentuado e rotura/fractura de martelos	qualidade do produto  (requisito regulamentar: redução da granulometria)	RPN=96 (risco inaceitável): instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de inspecção visual da afinação e estado de degradação do material
4. corda de empanque grafitada/família dos digestores: desgaste acentuado  ou assimétrico ou, ainda, obstrução	fiabilidade e manutenibilidade  (custos e programação da produção, por via indirecta)	RPN=48 (risco tolerável): Incluir o procedimento de inspecção visual da condição do aperto na <u>rotina</u> <u>diária</u> dos operadores
5. chumaceiras/  família dos digestores:  gripagem do rolamento, obstrução  ou relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=90 (risco inaceitável): evitar ao máximo que as causas potenciais de falha conduzam aos modos de falha mais gravosos, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um stock adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos das chumaceiras
6. veios/  família dos digestores:  desalinhamento	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=90 (risco inaceitável): evitar ao máximo que a gripagem do rolamento conduza ao modo de falha mais gravoso, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um stock adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual da condição do aperto e ponteira (i.e. desgaste assimétrico) na <u>rotina</u> <u>semanal</u> dos operadores
7. chumaceiras/arrefecedores:  gripagem do rolamento, obstrução  ou relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=45 (risco tolerável): evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter um stock adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do grupo moto-reductor e vibração dos rolamentos das chumaceiras
8. veios/arrefecedores:  desalinhamento	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=60 (risco tolerável): evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um stock adequado de peças de substituição <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual da condição da ponteira (i.e. desgaste assimétrico) na <u>rotina</u> <u>semanal</u> dos operadores
9. réguas de filtragem/ família das prensas: desgaste acentuado	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=48 (risco tolerável): Instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da condição do material e manter a estratégia de encomenda das peças de substituição <i>just-in-time</i>
10. veios, roscas e macaco hidráulico/ família das prensas:  desgaste acentuado e obstrução	fiabilidade e manutenibilidade  (idem)	RPN=48 (risco tolerável): instituir um procedimento documentado de controlos <u>trimestrais</u> intermédios da condição do material; conjugar a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um stock adequado de sobresselentes <i>just-in-case</i> e incluir os cuidados gerais de limpeza (i.e. um ciclo em vazio) no <u>final do turno vespertino</u>

Tabela 2.6: Inserção da Lista de Controlos (Famílias Técnicas Mais Expressivas)

## Modelos de Suporte e de Análise de Risco

REGISTO DE CONTROLOS DIÁRIOS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
4. corda de empanque grafitada/ família dos digestores: desgaste acentuado ou assimétrico ou, ainda, obstrução inspeção visual da condição do aperto	Seg.  Ter.  Qua.  Qui.  Sex.  Sáb.		
10. veios/ família das prensas: obstrução cuidados gerais de limpeza (i.e. correr um ciclo em vazio) no final do turno vespertino	Seg.  Ter.  Qua.  Qui.  Sex.  Sáb.		
17. placa e molde refractários do do copo do queimador/ caldeiras: deterioração do betão refractário inspeção visual da conformação da chama	Seg.  Ter.  Qua.  Qui.  Sex.  Sáb.		

Tabela 2.7: Inserção do Registo de Controlos (Pacotes de Supervisão)

## Modelos Dinâmicos de Avaliação da Disponibilidade Operacional

Os modelos matemáticos descritivos das condições de vida e características operacionais dos sistemas podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos. Qualquer uma destas categorias pode ainda subdividir-se quanto às leis ou processos que os regem ou geram em determinísticos ou estocásticos. Com efeito, observa-se que todos os sistemas físicos evidenciam uma relação de causalidade entre o resultado de um determinado processo obtido num instante particular e todas as entradas no sistema até esse momento, mas não para além dele. Consequentemente pode dizer-se que qualquer sistema físico se encontra submetido às leis que ditam o seu futuro. Porém, enquanto nos modelos determinísticos podemos definir com precisão os acontecimentos posteriores uma vez conhecido o estado actual, nos processos estocásticos apenas nos é dado estimar a probabilidade de sobrevivência do sistema ao longo do tempo. Todavia, é possível encontrar a Propriedade Markoviana de falta de memória em ambos os processos, entendida no sentido de que todo o comportamento futuro é condicionado exclusivamente pelo último estado observado, ou seja, o presente, ignorando-se completamente o percurso de vida anterior. Em análise de fiabilidade clássica esta simplificação inicial é suportada pelo Processo de Poisson Homogéneo, onde se assume que o sistema físico percorre o seu espaço de estados com taxas de transição conhecidas e constantes, isto é, os tempos de permanência em cada um deles são exponencialmente distribuídos.

Neste ponto importa sublinhar o conceito exposto por Billinton & Allan [1983] da assumpção tácita de tempos de permanência exponencialmente distribuídos em cada um dos estados desde que só se pretenda avaliar o comportamento limite ou estacionário de um sistema físico composto por elementos estatisticamente independentes. Nestas condições bastante especiais quer o sistema de equações diferenciais quer o conjunto de resultados obtidos são igualmente aplicáveis a todas as outras distribuições estatísticas.

Praticamente todos os sistemas são dinâmicos por natureza, embora se observe com frequência o tratamento analítico das questões da fiabilidade e da manutenibilidade de forma estática, isto é, configurando uma só janela temporal na vida do sistema. A abordagem estática impõe algumas dificuldades na modelação do comportamento dos sistemas e muito em particular na simulação dos cenários dinâmicos, dado que todos os sistemas antes de entrar no quadro estacionário têm que percorrer o regime transitório. Hoje em dia com as inúmeras facilidades computacionais ao



nosso dispor existem menos motivos para se adoptar a formulação estática: além dos ambientes gráficos de construção dos modelos e simulação dos resultados existentes no programa CARMS (*Computer-Aided Rate Modeling and Simulation*) [Pukite, 1998] e que é utilizado neste trabalho; os processos estocásticos ditos markovianos analisam uma colecção (frequentemente finita) de variáveis aleatórias nas suas interdependências e alterações ao longo do tempo, bem como o seu comportamento limite ou assintótico, entre outros; e por todos estes motivos proporcionam a flexibilidade, a facilidade de utilização e a rapidez habitualmente requeridas nos estudos desta natureza.

No desenvolvimento de programas de optimização estrutural é normalmente vantajosa a fusão entre os modelos estocásticos e determinísticos. A aplicação de uma estratégia a dois tempos de decomposição e integração dos principais processos da planta fabril é igualmente válida nos dois casos, oferecendo o modelo de suporte a estrutura lógica indispensável para a combinação dos resultados individuais ao nível do sistema. Regra geral, o modelo deve ser formulado como um conjunto de processos que actuam independentemente no sistema, já que esta premissa ajuda a simplificar os Diagramas de Estado e permite ao mesmo tempo conhecer melhor o desempenho operacional dos vários subsistemas fabris.

Os Diagramas de Estado por seu turno definem para cada um dos subsistemas ou processos fabris o conjunto particular de estados percorridos ou visitados pela configuração específica dos equipamentos disponíveis, quando submetidos a todas as combinações possíveis dos modos de falha mais significativos. As probabilidades de estado associadas dependem assim de factores claramente bem definidos, isto é, do tempo de missão e das taxas de falha e reparação, e ainda da presença de elementos redundantes; e exprimem, tal como seria de esperar, a probabilidade de encontrar o processo a residir em cada um deles.

Certos parâmetros ou coeficientes de sensibilidade de um qualquer processo fabril em fase de projecto ou mesmo em fase de remodelação (tais como o espaço, as amortizações, os prémios de seguro e os encargos financeiros) podem ser equiparados ao custo de posse desse sistema. A falha ou indisponibilidade dos elementos críticos deve por outro lado ser considerada um custo operacional, uma vez que não deixa de representar uma perda de capacidade produtiva que geralmente compreende diversos níveis de degradação em função das regras operacionais e da configuração específica das redundâncias. Daqui ressalta a importância de se medir bem tanto as capacidades individuais como a produtividade nominal de cada processo para que esta possa servir de referencial contra o qual se determine aos valores actuais o custo de permanência em regime estacionário naqueles estados de indisponibilidade.

Nesse sentido, o conjunto de estados individualmente percorridos dentro dos subsistemas que conduzem os processos fabris para uma condição idêntica em termos operacionais devem ser combinados ou acumulados em categorias próprias, nomeadamente nos estados operacional, de

funcionamento degradado (caso haja) e de falha. A probabilidade de permanência nos diferentes estados acumulados corresponde simplesmente à reunião dos eventos mutuamente exclusivos apropriados, ou seja, à soma das respectivas probabilidades de estado. Um método semelhante conhecido como Técnicas de Frequência e Duração [Billinton & Allan, 1983] deve ser igualmente usado para calcular dois outros índices de fiabilidade importantes, designadamente a frequência de visitas e o tempo de permanência nos estados acumulados. Estas medidas de desempenho adicionais formam um elemento decisivo na avaliação dos custos em regime estacionário, isto é, permitem o cálculo do tempo de indisponibilidade dos principais processos para um determinado período de análise que normalmente equivale ao exercício contabilístico.

### 3.1 Modelos de Markov

Em termos matemáticos pode descrever-se um processo estocástico como uma colecção de variáveis aleatórias  $\{X(t)\}$  indexadas por um parâmetro  $t \in T$ , tal que:

$$X(t) \equiv \{X(t_0), X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)\} \quad (3.1)$$

Usualmente o parâmetro de espaço  $T$  é considerado um conjunto finito de inteiros não negativos e  $\{X_n\}$  uma característica de interesse mensurável no instante de tempo  $t$ , o chamado processo de parâmetro discreto, onde  $n = 1, 2, 3, \dots$  identifica as janelas temporais ou passos do processo. Noutras situações o parâmetro de tempo  $t$  é contínuo ou incontável e por esse facto os processos estocásticos dizem-se de parâmetro contínuo e representam-se por  $\{X_t, t \in [0, \infty)\}$ . O conjunto de valores que a variável aleatória  $X(t)$  pode tomar define o espaço de estados, normalmente designado por  $\Omega$ . Os elementos deste conjunto correspondem aos estados do sistema. Caso o espaço de estados seja discreto o processo diz-se de estados discretos, caso contrário intitula-se processo de estados contínuos.

A grande maioria das aplicações na área da Fiabilidade realiza-se com os processos em regime estacionário, isto é, o mecanismo aleatório que gera os ciclos de falha e reparação tende a longo prazo por reflectir a lenta adaptação do sistema fabril às condições de carga e ambiente locais; se nenhuma alteração quer ao projecto original quer às operações de manutenção se concretizar (situação em que se estabelecem claramente novas configurações e condições de exploração e então o processo estocástico evolui no sentido positivo da melhoria da disponibilidade e redução de riscos) a distribuição de probabilidades permanecerá inalterada com o tempo.

Num processo estocástico genérico, a probabilidade da variável aleatória tomar um determinado valor no estágio  $n$ ,  $P[X(t_n) = x_n]$ , pode depender globalmente do conjunto de valores assumidos anteriormente e por isso torna-se necessário considerar a probabilidade condicional:

$$P[X(t_n) = x_n | X(t_1) = x_1, X(t_2) = x_2, \dots, X(t_{n-1}) = x_{n-1}] \quad (3.2)$$

Um processo estocástico diz-se markoviano se qualquer instante da sua vida constituir um ponto de regeneração do sistema, ou seja, sempre que uma mudança de estado ocorre a sua história é resumida pelo estado actual. Há nomeadamente quatro tipos de Modelos de Markov resultantes do número de combinações possíveis entre a natureza discreta ou contínua do seu espaço de estados e da variável tempo. Os processos de Markov de parâmetro discreto e estados também discretos chamam-se Cadeias de Markov ou Sequência Estocástica, enquanto os processos de parâmetro contínuo e estados discretos são habitualmente designados por Cadeias de Markov de Tempo Contínuo. Uma vez mais, a maioria das aplicações neste domínio adopta este último tipo de Modelos de Markov, dado que os eventos podem suceder em qualquer momento e o espaço de estados quer-se restrito e bem definido em favor da simplicidade e clareza. Na versão disponível, o programa CARMS inscreve a sua lógica de aplicação nas Cadeias de Markov de parâmetro contínuo.

Seja  $Z(t)$  um processo de estados discretos e  $P[Z(t_n)] = j$  a probabilidade do sistema se encontrar no estado  $j$  no instante  $t_n$ . O processo  $Z(t)$  é uma Cadeia de Markov de Tempo Contínuo se para qualquer instante de tempo  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , a probabilidade condicional do processo se encontrar no estado  $j$  é tal que:

$$P[Z(t_n) = j | Z(t_{n-1}) = i, Z(t_{n-2}) = k, \dots, Z(t_1) = l] = P[Z(t_n) = j | Z(t_{n-1}) = i] \quad (3.3)$$

Assumindo um Processo de Poisson Homogéneo e adoptando as notações usuais para designar as probabilidades, a Cadeia de Markov de Tempo Contínuo pode traduzir-se por um sistema de equações diferenciais com taxas de transição constantes, igualmente vertido na forma matricial e conhecidas como equações de Chapman-Kolmogorov. Admite-se ainda que o sistema percorre individualmente os elementos do seu espaço de estados  $\{0, 1, \dots, n\}$ , ou seja, consideram-se os eventos mutuamente exclusivos. A probabilidade do sistema se encontrar então num estado  $i$  no instante  $t$  é dada por  $P_i(t)$ . Globalmente, as probabilidades de permanência representam-se por um vector das probabilidades de estado (igualmente utilizado para introduzir as condições iniciais de funcionamento do sistema) tal que:

$$P(t) \equiv [P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)] \quad (3.4)$$

A homogeneidade das Cadeias de Markov de Tempo Contínuo significa que as probabilidades de transição directa  $p_{ij}$  não são afectadas por uma translação no tempo, isto é, obriga a uma distribuição exponencial dos tempos de permanência em cada estado, traduzida a seguir por:

$$p_{ij}(t, t + \Delta t) = \lambda_{ij} \times dt + 0 \times dt \quad (3.5)$$

Onde:  $t$  e  $t + \Delta t$  correspondem a dois estágios infinitamente próximos para que aconteça uma transição entre os estados  $i$  e  $j$ ;  $\lambda_{ij}$  equivale à taxa de transição entre eles e  $0(t)$  evidencia um termo que tende para zero mais rapidamente do que  $t$ .

Os conceitos de taxa de transição e de estado constituem os elementos fundamentais na análise de qualquer sistema dinâmico. Como se pode constatar, a forma mais natural de representar um processo de transição consiste na utilização de equações diferenciais. De facto, observa-se que um sistema para se encontrar no estado  $j$  no instante  $(t + \Delta t)$  é necessário que tenha visitado o estado  $i$  no instante  $t$  e a probabilidade de transição para  $j$ ,  $p_{ij}(t, t + \Delta t) \geq 0$ . Isto pode definir-se em termos globais da seguinte forma:

$$\frac{d}{dt} P(t) = P(t) \times A \quad (3.6)$$

Onde:  $A$  corresponde à designada matriz infinitesimal geradora da Cadeia de Markov, ou seja, a matriz quadrada  $(n \times n)$  das probabilidades de transição  $\{a_{ij}\}$  (i.e. as taxas de falha e reparação). Por seu turno, os elementos da matriz infinitesimal definem-se do seguinte modo:

$$a_{ij} = \begin{cases} \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{p_{ij}(\Delta t)}{(\Delta t)} \geq 0, i \neq j \\ \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{p_{ij}(\Delta t) - 1}{(\Delta t)} \leq 0, i = j \end{cases} \quad (3.7)$$

No entanto, a equação (3.6) só pode ser resolvida depois de identificadas as condições iniciais do problema, isto é, o vector das probabilidades de estado no instante  $t = 0$ , dado por  $P(0)$ . As probabilidades de permanência podem então obter-se a partir da seguinte equação diferencial:

$$P'(t) = P(0) \times A \quad (3.8)$$

Uma vez derivadas as equações de estado, calcula-se o comportamento efectivo do sistema em ordem ao tempo através de algoritmos de integração numérica bem estabelecidos, tais como os métodos da Diferença Implícita (l. *Bacwards-Difference*) e de Runge-Kutta [Press, Flannery & al., 1986]. O primeiro método é aconselhável sobretudo naqueles problemas onde coincidem duas ou mais escalas de valores bastante diferentes para as variáveis independentes. Ora bem, esse é precisamente o caso dos exercícios de avaliação da disponibilidade de sistemas fabris, onde as taxas de falha são frequentemente baixas e as de reparação altas. Isto traduz-se num rácio entre as bases com uma ordem de grandeza elevada, conduzindo a uma perda de precisão ou a uma escolha inadequada (normalmente automática) dos intervalos de simulação  $\Delta t$ .

Considerem-se as Figuras 3.1 e 3.2 como bons exemplos de uma estratégia de decomposição que aposta na simetria e nos aspectos combinatórios dos modelos para simplificar a análise dos processos fabris. O programa CARMS ao colocar à disposição do utilizador uma vasta biblioteca de Modelos de Markov, recorda ao analista a importância de compor os seus modelos a um nível de abstracção tal que facilite as tarefas de parametrização e cálculo e torne a configuração final potencialmente reutilizável. Os referidos Diagramas de Estado retratam o paralelo parcialmente redundante composto pelos blocos  $C_{1,2}$ ,  $D$  e  $E_{1,2,3}$  e a série de blocos  $O$ ,  $P_{2,3}$  e  $L_{5,6,7}$  do modelo de

suporte (cf. Figura 2.3). Notar a inclusão no primeiro diagrama de processos fabris independentes relativos à Incineradora e Sala de Vapor, bem como de taxas de falha virtuais e a aplicação das regras básicas das Probabilidades e da Fiabilidade de Sistemas para definir o estado de falha da Central Térmica. Inicialmente cada subsistema encontra-se no estado operacional. No segundo diagrama já estamos perante uma relação de dependência mais ou menos estreita entre todos os conjuntos, isto é, trata-se de um processo único ou não decomponível. Os valores exibidos em primeiro e segundo planos correspondem respectivamente aos cenários projectado e nominal. A série completa de Diagramas de Estado encontra-se disponível no Anexo D.

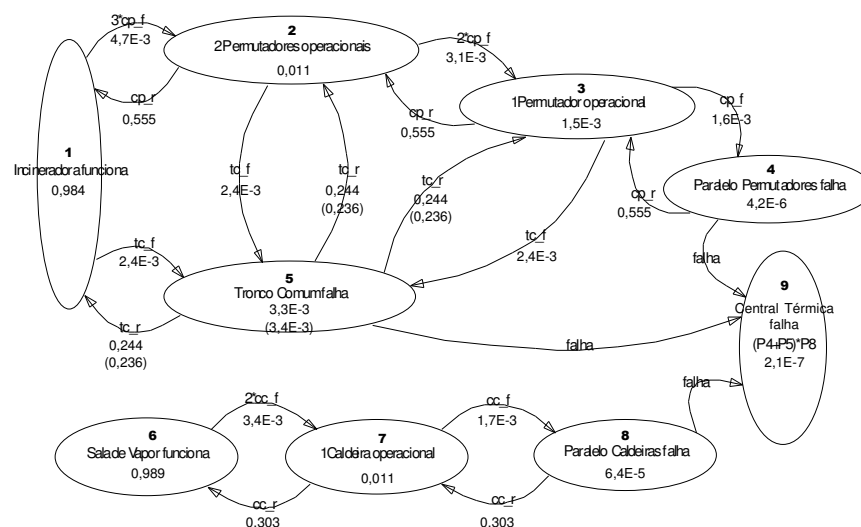


Figura 3.1: Diagrama de Estados da Central Térmica (Incineradora+Sala de Vapor)

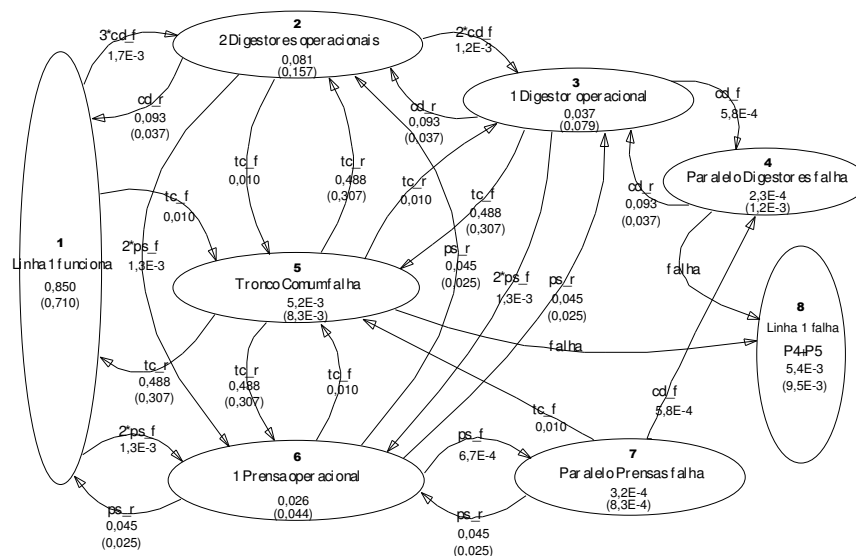


Figura 3.2: Diagrama de Estados da Linha 1 (Resíduos+Gordura) M2

Durante os períodos de reparação podem eventualmente suceder novas transições de estado que conduzam outros equipamentos para a condição de falha (apesar da diminuta probabilidade de tal acontecer). Nestas circunstâncias é sempre possível envolver os Operadores de Linha nas tarefas de manutenção, promovendo assim um aumento da disponibilidade de pessoal no intuito de lidar com processos de reposição simultâneos. Pontualmente poderá surgir a necessidade de concentrar esforços nos equipamentos mais críticos ou com menor tolerância a falhas.

Regra geral, as UTS dispõem de uma folga não sincronizada no fornecimento de vapor de cerca de 50 minutos que resulta dos períodos sucessivos de esterilização e decaimento da pressão interna das câmaras com vista ao início da fase de secagem em circuito aberto. Com efeito, estes processos temporizados concorrem normalmente com as intervenções correctivas e originam por isso um comportamento não-markoviano do sistema fabril que requer um tratamento adequado com recurso a metodologias específicas [Faria & Matos, 2001] mas que infelizmente, não cabem no âmbito deste trabalho. Por outro lado, as tarefas mais complexas ou morosas de manutenção são habitualmente programadas para o arranque semanal da fábrica. Neste caso, o processo de manutenção decorre em vazio e como tal exerce pouca influência no comportamento do sistema.

Com a Tabela 3.1 que a seguir se apresenta procura-se mostrar o formato em folha de cálculo do Quadro de Transição CARMS, que associa numa única tabela as probabilidades de estado, as condições iniciais e as taxas de transição, propriamente ditas. As colunas correspondem aos estados (ou casas) de origem e as linhas indicam os estados (ou casas) de destino (numa clara alusão ao célebre jogo do Monopólio). Os Quadros de Transição CARMS permitem visualizar em modo de formulário as condições de funcionamento iniciais dos processos fabris (no caso a Linha 1) e a expressão de cálculo da probabilidade de permanência em estado de falha acumulado. Saliente-se porém que não é consentida pelo programa a construção de fórmulas com base em expressões previamente definidas pelo utilizador.

Estados	Prob	Base	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	tc_f		cd_r			tc_r	ps_r		
2	0	cd_f	3*cd_f		cd_r		tc_r	ps_r		
3	0	ps_f		2*cd_f		cd_r	tc_r	ps_r		
4	0	tc_r			cd_f				cd_f	
5	0	cd_r	tc_f	tc_f	tc_f			tc_f	tc_f	
6	0	ps_r	2*ps_f	2*ps_f	2*ps_f		tc_r		ps_r	
7	0							ps_f		
8	P4+P5					falha	falha			

Tabela 3.1: Quadro de Transição CARMS da Linha 1 – Condições Iniciais

A avaliação da disponibilidade dos sistemas fabris começa, como se viu atrás, com a construção de Modelos de Markov completos, ou seja, incluindo quer as taxas de falha quer de reparação

ou, melhor, reunindo num só os modelos de fiabilidade e manutenibilidade. Sublinhe-se todavia que as equações de estado correspondentes tanto podem ser formuladas a partir do Quadro de Transição CARMS como assentar nos Diagramas de Estado e nas probabilidades directas  $\{a_{ij}\}$ .

Segundo o conceito de Balanço das Frequências [Billinton & Allan, 1983] (criado especialmente para Cadeias Ergódicas, onde se observa que a distribuição de probabilidade para um estado limite é independente do estado inicial  $P(X(t) = j | X(0) = i) \rightarrow P_j$  e também não é afectada por uma translação no tempo, em virtude do sistema já se encontrar em regime estacionário) pode dizer-se que as probabilidades de permanência equivalem à diferença entre os somatórios das probabilidades de entrada e saída em cada estado, ponderadas as devidas taxas de transição. Notar acima de tudo que nos denominados Processos Homogéneos  $P_i(t)$  é diferenciável, logo: se  $\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t)$  existe, então  $\frac{d}{dt} P_i(t)$  tende para zero.

Seja  $P_i(\infty) = P_i$ , então as equações de equilíbrio da Linha 1 podem fixar-se do seguinte modo:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} P_1 &= cd_r \times P_2 + tc_r \times P_5 + ps_r \times P_6 - (3cd_f + tc_f + 2ps_f) \times P_1 & P_1(0) &= 1 \\
 \frac{d}{dt} P_2 &= 3cd_f \times P_1 + cd_r \times P_3 + tc_r \times P_5 + ps_r \times P_6 - (cd_r + 2cd_f + tc_f + 2ps_f) \times P_2 & P_2(0) &= 0 \\
 \frac{d}{dt} P_3 &= 2cd_f \times P_2 + cd_r \times P_4 + tc_r \times P_5 + ps_r \times P_6 - (cd_r + cd_f + tc_f + 2ps_f) \times P_3 & P_3(0) &= 0 \\
 \frac{d}{dt} P_4 &= cd_f \times (P_3 + P_7) - cd_r \times P_4 & P_4(0) &= 0 \\
 \frac{d}{dt} P_5 &= tc_f \times (P_1 + P_2 + P_3 + P_6 + P_7) - 4tc_r \times P_5 & P_5(0) &= 0 \\
 \frac{d}{dt} P_6 &= 2ps_f \times (P_1 + P_2 + P_3) + tc_r \times P_5 + ps_r \times P_7 - (3ps_r + tc_f + ps_f) \times P_6 & P_6(0) &= 0 \\
 \frac{d}{dt} P_7 &= ps_f \times P_6 - (cd_f + tc_f + ps_r) \times P_7 & P_7(0) &= 0 \\
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 &= 1 & & (3.9)
 \end{aligned}$$

O sistema de equações diferenciais pode neste momento ser transformado em notação matricial e confrontado com o Quadro de Transição 3.1 e a equação (3.7):

$$\begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ P'_3 \\ P'_4 \\ P'_5 \\ P'_6 \\ P'_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(3cd_f + tc_f + 2ps_f) & cd_r & & & & & \\ & 3cd_f & -(cd_r + 2cd_f + tc_f + 2ps_f) & & & & \\ & & 2cd_f & -(cd_r + cd_f + tc_f + 2ps_f) & & & \\ & & & cd_f & -cd_r & & cd_f \\ & tc_f & & & -4tc_r & tc_f & tc_f \\ & 2ps_f & & & & tc_r - (3ps_r + tc_f + ps_f) & ps_r \\ & & & & & & ps_f - (cd_f + tc_f + ps_r) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Depois desta breve ilustração das equações diferenciais de Chapman-Kolmogorov, é chegada a altura de mostrar um novo Quadro de Transição CARMS relativo ao regime estacionário da Linha 1, isto é, após ter sido executada uma simulação para um período de 52.000 horas que equivale aos 8 anos de exploração necessários para que todos os factores de risco se manifestem pelo menos uma vez na unidade fabril. Como se pode ver no Quadro de Simulação CARMS, o regime estacionário é alcançado ao fim de cerca de 3.000 horas, ou seja, basta simular somente um semestre para se obter o comportamento limite ou assintótico do processo fabril (*vide* Tabela 3.2 e Figura 3.3).

Estados	Prob	Base	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,710	0,010		0,037			0,037	0,025		
2	0,157	5,8E-4	1,7E-3		0,037		0,037	0,025		
3	0,079	6,7E-4		1,2E-3		0,037	0,037	0,025		
4	1,2E-3	0,307			5,8E-4				5,8E-4	
5	8,3E-3	0,037	0,010	0,010	0,010			0,010	0,010	
6	0,044	0,025	1,3E-3	1,3E-3	1,3E-3		0,037		0,025	
7	8,3E-4							6,7E-4		
8	9,5E-3					falha	falha			

Tabela 3.2: Quadro de Transição CARMS da Linha 1 – Regime Estacionário (Cenário Nominal)

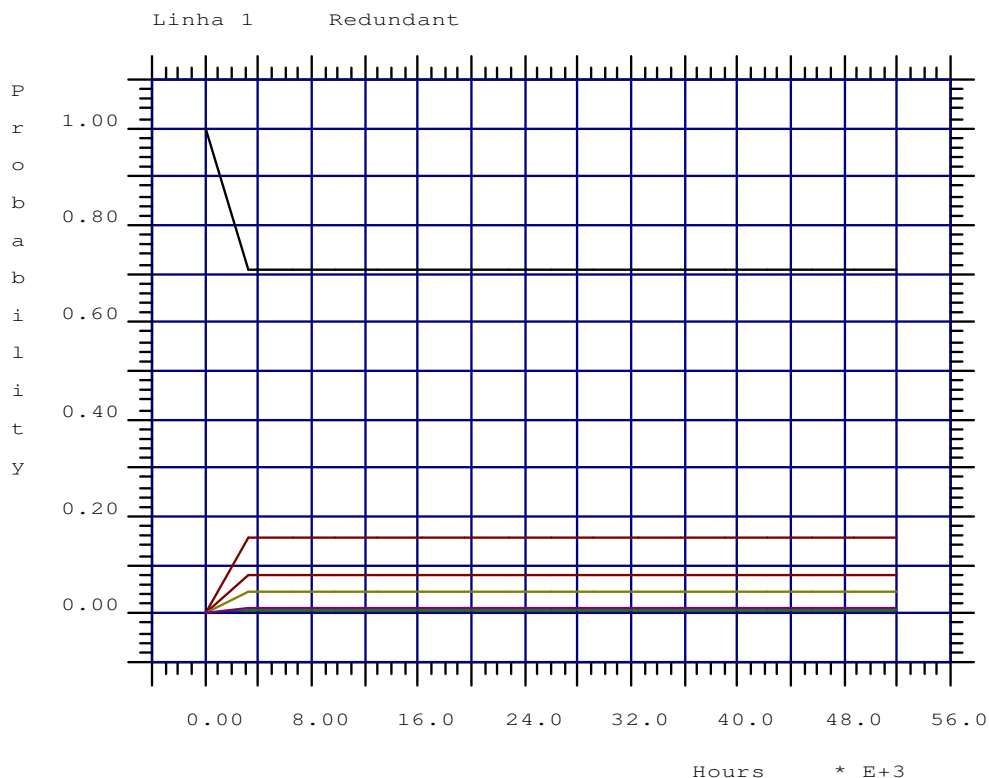


Figura 3.3: Quadro de Simulação CARMS da Linha 1 – Comportamento Assintótico



### 3.2 Técnicas de Frequência e Duração

Um Diagrama de Estados relativo a um sistema elementar pode ser representado em termos gráficos de uma forma alternativa ao habitual por um quadro cronológico. Os tempos médios de funcionamento  $m$  (*Up Time*) e de reparação  $r$  (*Down Time*) oferecem num relance uma boa indicação acerca do desempenho operacional deste sistema (*vide* Figura 3.4).

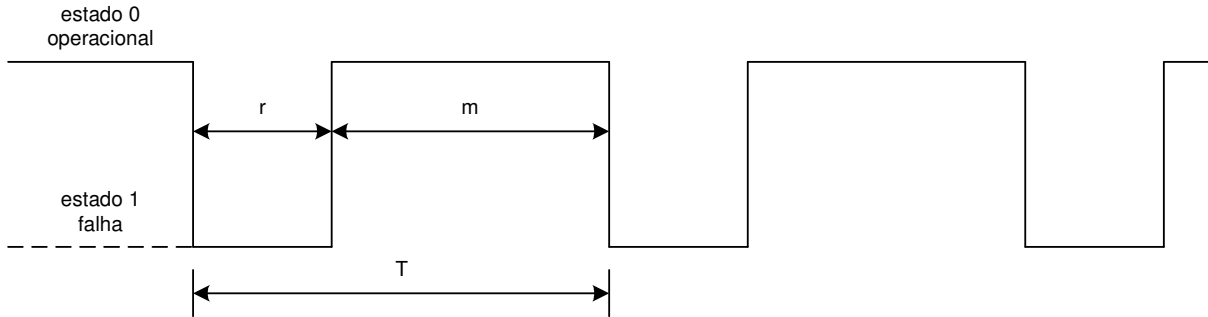


Figura 3.4: Diagrama Cronológico de Estados – Sistema Simples (Adaptado de Billinton & Allan, 1983)

As probabilidades de permanência quer no estado operacional (Disponibilidade) quer no estado de falha (Indisponibilidade) são dadas pelas seguintes expressões:

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{m + r} \quad (3.11)$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m + r} \quad (3.12)$$

onde:  $\lambda$  e  $\mu$  denotam respectivamente as taxas de falha e reparação do sistema.

O período  $T$  indicado nesta figura corresponde ao tempo de ciclo do sistema e equivale à soma dos tempos médios até falhar (l. *MTTF*) e de reparação (l. *MTTR*), ou seja, ao tempo médio entre falhas (l. *MTBF*). Em termos práticos e uma vez que para sistemas fiáveis o tempo de reparação é incomparavelmente menor do que o tempo de funcionamento do sistema, os valores numéricos do *MTBF* e *MTTF* são aproximadamente iguais. Daí que sejam válidas as seguintes relações:

$$m = MTTF = 1/\lambda \quad (3.13)$$

$$r = MTTR = 1/\mu \quad (3.14)$$

$$T = MTBF = m + r = 1/f \quad (3.15)$$

No caso de sistemas complexos reduzidos a dois únicos estados acumulados de funcionamento e de falha, tal como o sistema elementar acima representado experimenta apenas dois estados individuais, a frequência  $f$  de visitas ou entrada em cada um deles terá que ser semelhante.

Reparando bem não é difícil ver que o MTBF de um sistema-paralelo equivale ao tempo de ciclo subordinado ao estado de falha e que o mesmo indicador de fiabilidade para um sistema-série corresponde ao tempo de ciclo em ordem ao estado operacional: são dois estados característicos que além de possuírem uma identidade própria ela é exclusiva em cada um dos sistemas.

Independentemente do número de estados visitados por um processo ou sistema fabril, verifica-se que a probabilidade de permanência em cada um é igual ao tempo médio de permanência individual a dividir pelo respectivo tempo de ciclo, ou seja:

$$P_i = \frac{m_i}{T_i} \quad (3.16)$$

Introduzindo na expressão a equação (3.11) temos:

$$P_0 = \frac{m}{m+r} = \frac{m}{T} = \frac{1}{\lambda \times T} = \frac{f}{\lambda} \quad (3.17)$$

e aplicando à equação (3.12) vem:

$$P_1 = \frac{r}{m+r} = \frac{r}{T} = \frac{1}{\mu \times T} = \frac{f}{\mu} \quad (3.18)$$

Combinando as duas equações anteriores obtemos o seguinte resultado:

$$f = P_0 \times \lambda = P_1 \times \mu \quad (3.19)$$

que se pode resumir do seguinte modo: a frequência de entrada no estado operacional é igual ao produto da probabilidade do sistema nele permanecer pela taxa de saída desse estado ou, por outras palavras, igual ao produto da probabilidade do sistema se encontrar a residir fora dele pela taxa de entrada nesse estado. Notar além do mais que este enunciado reafirma o conceito de Balanço das Frequências avançado no ponto anterior e como tal, somente se poderá aplicar ao comportamento limite ou assintótico dos processos fabris.

Genericamente, a equação (3.19) pode assumir a seguinte forma:

$$f_i = P_i \times \lambda_{si} = \bar{P}_i \times \lambda_{ei} \quad (3.20)$$

Onde:  $f_i$  corresponde à frequência de entrada no estado  $i$ ;  $P_i$  a probabilidade de permanência nesse estado;  $\bar{P}_i$  a probabilidade de residir fora dele;  $\lambda_{ei}$  a taxa de entrada e  $\lambda_{si}$  a taxa de saída. Saliente-se também que a aplicação do formato alternativo da equação anterior deverá revestir-se de especial cuidado, uma vez que se refere unicamente aos estados comunicantes.

Por último, de acordo com as equações (3.16) e (3.20) e dado que  $T_i = 1/f_i$ , surge:

$$m_i = \frac{P_i}{f_i} = \frac{1}{\lambda_{si}} \quad (3.21)$$

O resultado anterior que define o tempo médio de permanência ou duração do estado  $i$  como o recíproco da sua taxa de saída já foi estabelecido nas equações (3.13) e (3.14) e encontra-se subjacente a todo o processo de levantamento dos parâmetros básicos de fiabilidade. O conceito alternativo de duração de um estado como o quociente entre a probabilidade de permanência e a frequência de entrada nesse estado é mais interessante do ponto de vista das técnicas agora em discussão e a sua utilidade tornar-se-á rapidamente visível quando se estender estas expressões aos sistemas complexos.

O primeiro passo nesse sentido consiste em agrupar por categorias adequadas aqueles estados individuais que conduzem o processo fabril para uma condição idêntica em termos funcionais, tais como os estados operacional, de funcionamento degradado e de falha. Uma vez conhecidas as probabilidades de estado individuais em regime estacionário, a probabilidade de permanência nos vários estados acumulados corresponde simplesmente à reunião dos eventos mutuamente exclusivos apropriados, ou seja, à soma das respectivas probabilidades de estado.

O cálculo da frequência de entrada nos diferentes estados acumulados requer a introdução de um novo conceito de fronteira (ou fosso) em redor do estado acumulado [Billinton & Allan, 1983]. A ideia fundamental consiste em imaginar uma muralha em torno da combinação particular de estados e considerar apenas como contribuintes líquidos para o cômputo da frequência de visitas aqueles estados individuais que apresentam transições directas (ou pontes) através dela para os estados vizinhos. Todas as frequências de transição interiores devem ser ignoradas e efectuada a soma das restantes.

A etapa final na obtenção dos índices de frequência e duração das perdas de capacidade (e não só) dos principais processos fabris corresponde ao cálculo do tempo médio de permanência nos respectivos estados acumulados. Para o efeito basta aplicar o conceito alternativo de duração e empregar as medidas de desempenho cumulativas referentes às probabilidades de permanência e frequência de visitas ao interior da muralha dos estados em análise.

### 3.3 Apresentação e Discussão de Resultados

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 apresentam-se os resultados da aplicação dos vários métodos discutidos ao longo deste capítulo, de acordo com os cenários ditos projectado e nominal, respectivamente. Como se pode ver, seguiu-se uma abordagem sistémica orientada pelos principais processos ao problema da avaliação global dos índices de fiabilidade da planta fabril, designada antes como estratégia a dois tempos de partição/redução e integração. A utilização tácita deste princípio da Qualidade eleva os processos fabris à condição de cliente interno (ou processo seguinte) e visa combater claramente o desperdício e instituir uma cultura de melhoria contínua que beneficie simultaneamente do envolvimento das pessoas, da elevação do moral e acréscimo de confiança nos canais de comunicação formais e da melhoria generalizada de competências. Os sucessivos

ganhos de disponibilidade operacional podem contribuir decisivamente para o estabelecimento de relações frutuosas e duradouras quer com fornecedores quer com clientes finais [Pires, 2004].

ÍNDICES DE DESEMPENHO						
Cenário Nominal do Ambiente Técnico da Manutenção						
Processos	Estados	Probabilidade	(ln)disponibilidade	Frequência de	(Duração) Tempo de	MTBF
Fabris	Acumulados	de Permanência		Visitas (ano <sup>-1</sup> )	Permanência (horas)	(horas)
B. paralelo 4 bombas de nafta	operacional	P1 = 0,999	A = 1	f1 = 4	m1 = 1613	T5 =
	degradado	P234 = 6,203E-4	—	f234 = 4	m234 = 1	71,5E+12
	falha	P5 = 1,4E-14	U = 1,4E-14	f5 = 9,1E-11	m5 = 1	
C. paralelo de caldeiras	operacional	P1 = 0,989	A = 0,999936	f1 = 22	m1 = 294	T3 =
	degradado	P2 = 0,011	—	f2 = 22	m2 = 3	51.570
	falha	P3 = 6,4E-5	U = 6,4E-5	f3 = 0,1	m3 = 3	
D+E. paralelo 3 permutadores em série com tronco comum	operacional	P1 = 0,984	A = 0,9967	f1 = 45	m1 = 141	T1 =
	degradado	P23 = 0,0125	—	f23 = 40	m23 = 2	143
	falha	P45 = 3,3E-3	U = 3,3E-3	f45 = 16	m45 = 1	
G+H+I. circuito L4 em série com tronco comum+evaporador	operacional	P1 = 0,975	A = 0,98	f1 = 44	m1 = 145	T1 =
	degradado	P3 = 5,7E-3	—	f3 = 4,5	m3 = 8	148,5
	falha	P24 = 0,020	U = 0,020	f24 = 39	m24 = 3	
J+L+P. prensa+paralelo 2 digestores em série com tronco comum L2	operacional	P1 = 0,938	A = 0,9917	f1 = 52	m1 = 118	T1 =
	degradado	P2 = 0,0537	—	f2 = 33	m2 = 10,6	126
	falha	P34 = 0,0083	U = 0,0083	f34 = 43	m34 = 1,3	
M+L. paralelo 2 digestores em série com tronco comum L3	operacional	P1 = 0,957	A = 0,9953	f1 = 41,5	m1 = 149	T1 =
	degradado	P2 = 0,039	—	f2 = 25	m2 = 10	156
	falha	P34 = 0,00464	U = 0,00464	f34 = 36	m34 = 0,84	
O+L+P. paralelo 2 prensas +paralelo 3 digestores em série com tronco comum L1	operacional	P1 = 0,850	A = 0,994	f1 = 72	m1 = 77	T1 =
	degradado	P23 = 0,144	—	f23 = 66	m23 = 14	90,5
	falha	P45 = 0,006	U = 0,006	f45 = 66	m45 = 0,6	
UTS. planta fabril	operacional	P1 = 0,7435	A = 0,9915 <sup>(1)</sup>	—	—	—
	degradado	P2 = 0,2480 <sup>(2)</sup>	—	—	—	—
	falha	P3 = 0,0085	U = 0,0085	—	—	—

<sup>(1)</sup> Via Diagramas Bloco de Fiabilidade: Modelo Simplificado.

<sup>(2)</sup> Via Reunião (ou Soma) de eventos independentes e inclusivos.

Tabela 3.3: Índices de Desempenho – Principais Processos e Planta Fabril (Cenário Projectado)

Tal como anteriormente se referiu existe toda a vantagem em conciliar os modelos estocásticos e determinísticos entre si, já que o modelo de suporte oferece a estrutura lógica indispensável para a combinação dos resultados individuais ao nível do sistema. No caso da avaliação do índice de disponibilidade operacional aplicam-se as noções básicas da Fiabilidade de Sistemas, incluindo a equação geral, no sentido de combinar globalmente as probabilidades limite de permanência nos estados operacionais dos principais processos produtivos e de suporte. Relativamente ao cálculo da probabilidade limite de permanência da planta fabril em modo degradado, a ferramenta mais indicada corresponde ao conjunto das operações Booleanas sobre eventos.

De acordo com as operações elementares da Teoria das Probabilidades, a reunião de eventos mutuamente exclusivos equivale à soma das respectivas probabilidades e é dada pela seguinte expressão:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) \quad (3.22)$$

Na presença de eventos inclusivos a expressão anterior sofre uma ligeira modificação:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A \times B) \quad (3.23)$$

Caso os eventos sejam independentes, a probabilidade de ocorrência simultânea é dada por:

$$P(A \times B) = P(A) \times P(B) \quad (3.24)$$

Os ciclos de falha e reparação dos principais processos fabris consideram-se segundo o princípio da assumpção tácita de Billinton & Allan [1983] delimitados por acontecimentos independentes não mutuamente exclusivos, isto é, podem suceder ao mesmo tempo, como é do conhecimento geral. Sublinhe-se ainda que as expressões anteriores são facilmente extensíveis aos sistemas fabris através da execução de um ciclo de iteração recursivo que termina quando se esgotarem todos os eventos [Pukite, 1998].

As Figuras 3.5 e 3.6 oferecem uma leitura gráfica da ponderação dos vários estados acumulados no indicador de Disponibilidade Operacional ainda em função dos cenários projectado e nominal.

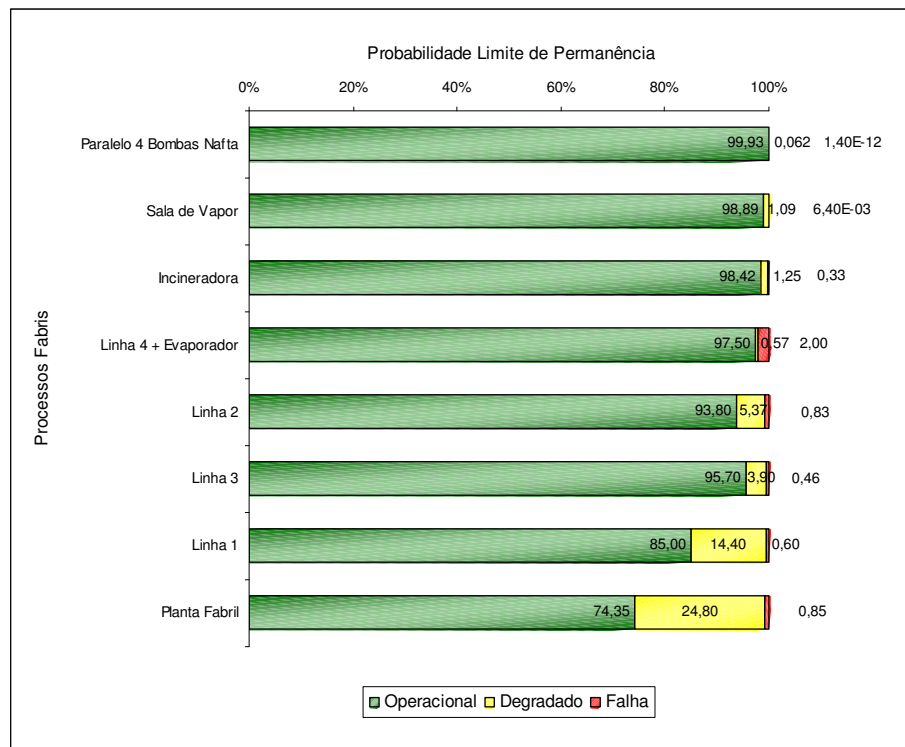


Figura 3.5: Contribuição Projectada dos Estados Acumulados para a Disponibilidade Operacional

## Modelos Dinâmicos de Avaliação da Disponibilidade Operacional

ÍNDICES DE DESEMPENHO						
Cenário Nominal do Ambiente Técnico da Manutenção						
Processos Fabris	Estados Acumulados	Probabilidade de Permanência	(ln)disponibilidade	Frequência de Visitas (ano <sup>-1</sup> )	(Duração) Tempo de Permanência (horas)	MTBF (horas)
G+H+I. <b>circuito L4</b>	operacional	P1 = 0,949	A = 0,962	f1 = 42,5	m1 = 145	T1 =
<b>em série com tronco</b>	degradado	P3 = 0,013	—	f3 = 4,5	m3 = 19	152,5
<b>comum+evaporador</b>	falha	P24 = 0,038	U = 0,038	f24 = 38,5	m24 = 6	
J+L+P. <b>prensa+paralelo</b>	operacional	P1 = 0,870	A = 0,984	f1 = 48	m1 = 118	T1 =
<b>2 digestores em série</b>	degradado	P2 = 0,114	—	f2 = 32	m2 = 23,25	136
<b>com tronco comum L2</b>	falha	P34 = 0,016	U = 0,016	f34 = 44,3	m34 = 2,35	
M+L. <b>paralelo</b>	operacional	P1 = 0,905	A = 0,9939	f1 = 39,5	m1 = 149	T1 =
<b>2 digestores em série</b>	degradado	P2 = 0,089	—	f2 = 25	m2 = 23	165
<b>com tronco comum L3</b>	falha	P34 = 0,0061	U = 0,0061	f34 = 36	m34 = 1,11	
O+L+P. <b>paralelo 2 prensas</b>	operacional	P1 = 0,710	A = 0,9905	f1 = 60	m1 = 77	T1 =
<b>+paralelo 3 digestores em</b>	degradado	P23 = 0,2805	—	f23 = 63,5	m23 = 28,7	108,35
<b>série com tronco comum L1</b>	falha	P45 = 0,0095	U = 0,0095	f45 = 66,5	m45 = 0,93	
UTS.	operacional	P1 = 0,5509	A = 0,9915	—	—	—
<b>planta fabril</b>	degradado	P2 = 0,4406	—	—	—	—
	falha	P3 = 0,0085	U = 0,0085	—	—	—

Tabela 3.4: Índices de Desempenho – Principais Processos e Planta Fabril (Cenário Nominal)

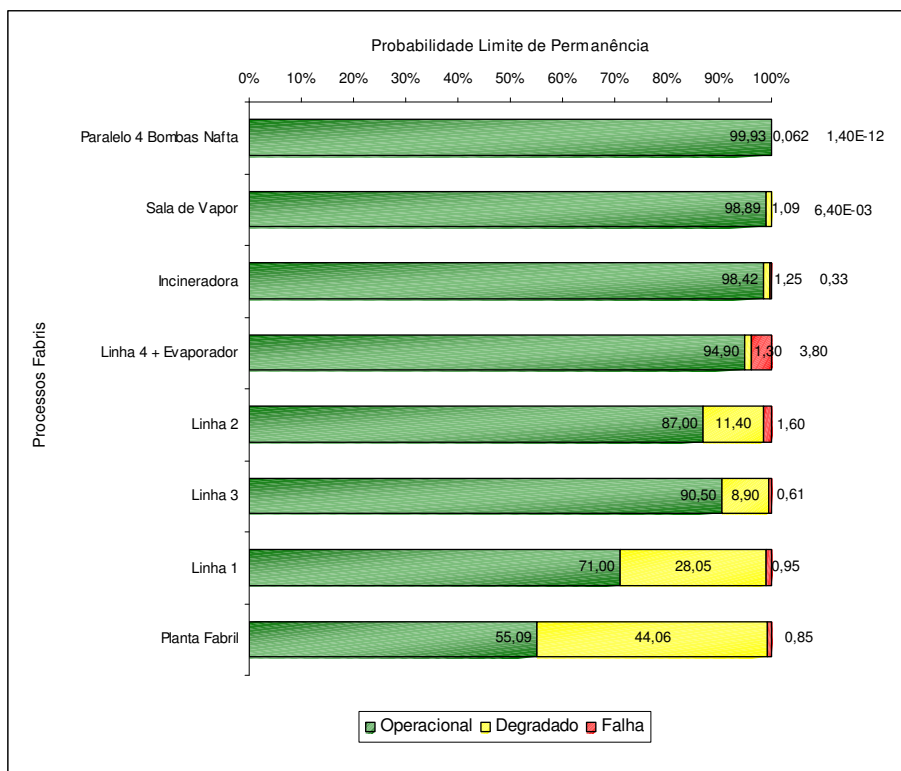


Figura 3.6: Contribuição Nominal dos Estados Acumulados para a Disponibilidade Operacional

A Figura 3.7 evidencia a margem de progressão inaugural da disponibilidade operacional gerada pelo programa de melhorias. Recordar que o estado de funcionamento degradado corresponde

na generalidade dos modelos estáticos a uma perda oculta de capacidade produtiva, um pouco à imagem do *iceberg* de custos da não-qualidade, neste caso de indisponibilidade. Sublinhe-se também que o valor da disponibilidade encontrado para o cenário nominal equivale só por si ao valor esperado da eficiência operacional dos sistemas tradicionais, ou seja, anda na casa dos 55-60%. Este dado exprime bem a dimensão das perdas por indisponibilidade que genericamente perturbam as UTS, sem esquecer evidentemente o desperdício justificado pelas ineficiências de qualidade e velocidade de processamento. Por esse motivo, um crescimento global a rondar os 20% não pode considerar-se desprezável.

Tal como em passagens anteriores se fez notar, diga-se em abono da verdade que esta margem de progressão inaugural corresponde apenas a uma estimativa por defeito para o acréscimo de disponibilidade operacional, uma vez que o efeito sinérgico das acções previstas de redução de riscos ao nível da melhoria da fiabilidade não está contemplado nas simulações. Isto é decorrente sobretudo do facto de que para as mais expressivas políticas e famílias técnicas de manutenção, os valores relativos ao cenário "optimista" traduzirem a filosofia de adiamento das intervenções e revelarem antes de mais um quadro de funcionamento degradado levado ao limite da segurança dos equipamentos. A incerteza que incide sobre o julgamento dos peritos e que resulta tanto da escassez de registos como do conhecimento imperfeito acerca das relações de interdependência entre as diversas facetas dos factores de risco, depende fortemente das condições de exploração locais e ao mesmo tempo é responsável por uma certa ambiguidade e contradição nos valores das estimativas. Mais adiante na Secção 3.5 teremos oportunidade de ilustrar a modelação desta incerteza recorrendo à Teoria dos Conjuntos Difusos, bem como o efeito que exerce quando se propaga aos índices de fiabilidade do subsistema descrito por uma simplificação da Linha 3.

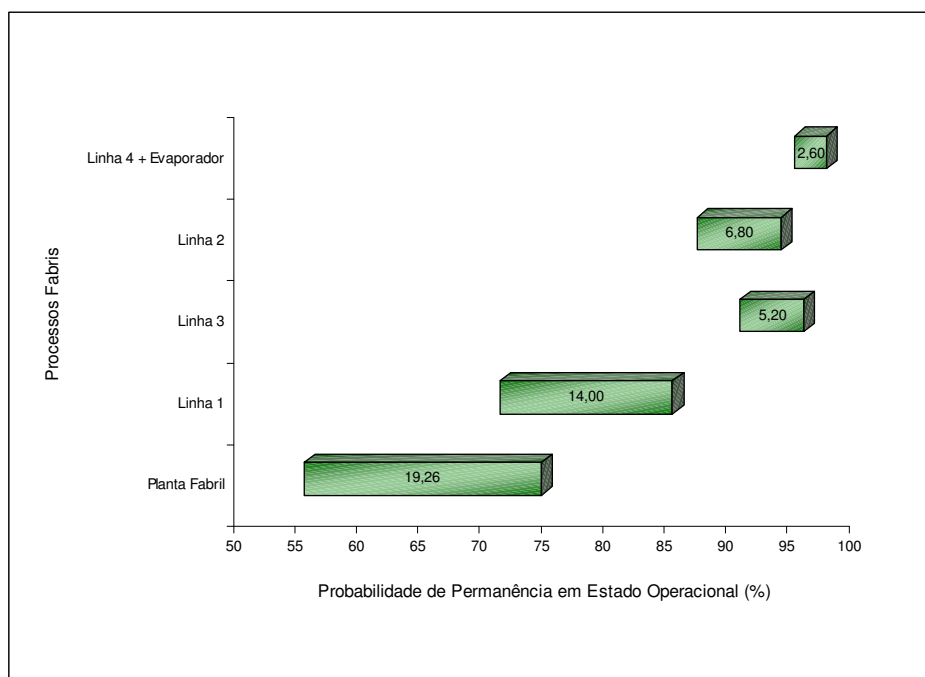


Figura 3.7: Margem de Progressão Inaugural da Disponibilidade Operacional

Voltando aos elementos das Tabelas 3.3 e 3.4 verifica-se que aparentemente do cenário nominal para o cenário projectado se regista um acréscimo generalizado da Frequência de Visitas por ano aos estados operacional, de funcionamento degradado e de falha. Isto acontece porque há mais oportunidade ou tempo disponível para o efeito, uma vez que para igual tempo médio de funcionamento ( $MTTF$ ) se observa uma diminuição do tempo médio de reparação ( $MTTR$ ). De facto, o Tempo de Permanência no estado operacional permanece inalterado dado que de um cenário para o outro, se experimenta apenas o efeito de uma revisão das políticas de reparação e gestão dos materiais, aliada a uma nova forma de supervisão e que se traduzem por novas taxas de reparação (*vide* Anexo E para aceder na íntegra aos Índices de Desempenho).

O vulgar índice de fiabilidade relativo ao tempo médio entre falhas ( $MTBF$ ) é também incluído nas tabelas, apesar de possuir unicamente um valor simbólico ou, antes, não deverá ser empregue para delinear uma estratégia de manutenção preventiva, até porque não diz respeito a um órgão individual, isto é, concerne a uma multiplicidade de factores de risco com incidência num conjunto particular de equipamentos que integram um determinado processo fabril.

### 3.4 Perdas Operacionais e Custos de Posse

Posto isto e antes de entrar numa análise mais fina sobre a economia gerada pelo programa de melhorias, talvez seja interessante apresentar uma aproximação aos custos de indisponibilidade, para depois se debater melhor a relação de custo-benefício das acções de redução de riscos:

$$C_{US} = \sum_i^n \sum_j^m \eta_{Pi} \times V_{Mi} \times T_{Uij} \times C_{Pij} \quad (3.25)$$

Onde:  $C_{US}$  (€. $\text{ano}^{-1}$ ) representa a parcela de custos indirectos da indisponibilidade global gerados só pelas perdas anuais de capacidade produtiva;  $\eta_{Pi}$  ( $\text{t.h}^{-1}$ ) e  $V_{Pi}$  (€. $\text{t}^{-1}$ ) denotam a produtividade nominal do processo fabril  $i$  e o valor comercial nominal da respectiva mercadoria;  $T_{Uij}$  ( $\text{h.ano}^{-1}$ ) equivale ao tempo de permanência anual no estado de indisponibilidade  $j$  de um determinado processo  $i$ , ou seja, ao produto da frequência de visitas  $f_{ij}$  pela duração particular desse estado  $m_{ij}$ ; e por fim,  $C_{Pij}$  (%) corresponde ao decréscimo de capacidade produtiva nominal em cada um dos  $m$  estados de indisponibilidade respeitantes aos  $n$  processos fabris.

Tal como na secção introdutória se mencionou é comum observar-se nas UTS a prática de uma política de adiamento das intervenções correctivas quando estas se vêm confrontadas com uma quebra episódica da disponibilidade operacional. Uma filosofia de reparação deste género apela invariavelmente a um queimar de etapas que neste caso se traduz por um encurtamento da fase de secagem do ciclo operacional e numa eventual supressão do tratamento térmico ao material liquefeito. Simultaneamente regista-se um agravamento da carga horária semanal numa tentativa de preservação do fluxo de remessas das matérias provenientes de terceiros. Estes três factores



concorrem nos planos técnico, ambiental e económico para a expressão de uma outra faceta dos custos indirectos da indisponibilidade global. Se acrescentarmos a tudo isto o impacto negativo que uma tal política de manutenção exerce quer ao nível da comunidade local quer nos planos motivacional e cultural, será porventura bastante considerável o volume de perdas associadas à indisponibilidade, mesmo sem contabilizar os custos directos das reparações e substituições e até mesmo uma certa degradação da reputação ou imagem da organização junto de clientes e fornecedores de bens e serviços.

Com efeito, basta atender aos montantes assumidos pelo pagamento de horas extraordinárias, às penalizações e coimas infligidas por teores de humidade excessivos e em consequência de incumprimentos vários, em particular: o desrespeito pelas fracções granulométricas e tratamentos térmicos exigíveis; a inobservância dos requisitos gerais de higiene do pessoal, das instalações e equipamentos, bem como das viaturas; a contagem de níveis exagerados de contaminantes nas águas residuais e a emissão descontrolada de vapores orgânicos para a atmosfera; para decidir a favor da instituição de um procedimento de avaliação e controlo sistemático de todos os riscos presentes na planta fabril.

Em jeito de conclusão procede-se agora a um breve exercício de aligeiramento da configuração da planta fabril com o propósito de ilustrar uma técnica de análise estrutural que pretende antes de mais questionar o valor acrescentado de determinadas redundâncias para a disponibilidade operacional do sistema, sabendo de antemão que existe um custo de posse associado a cada equipamento e até que ponto isso não significa um desperdício de activos materiais e financeiros. Neste exercício de simplificação estrutural consideram-se especialmente merecedores de uma análise detalhada os processos de incineração e de bombagem de nafta (*vide* Figura 2.3).

Os resultados inseridos na Tabela 3.5 indicam que para ambos os cenários do ambiente técnico da manutenção, a preservação de uma única bomba injectora sobresselente e a eliminação do circuito de incineração são responsáveis por um acréscimo de Indisponibilidade Operacional da ordem de uma décima de milésima e por um decréscimo da Probabilidade de Permanência da planta fabril em modo de Funcionamento Degradado na casa de uma centésima.

SIMPLIFICAÇÃO ESTRUTURAL						
Cenários do Ambiente Técnico da Manutenção: projectado (e nominal)						
Processos Fabris	Estados Acumulados	Probabilidade Limite de Permanência	(In)disponibilidade	Frequência de Visitas (ano <sup>-1</sup> )	(Duração) Tempo de Permanência (horas)	MTBF (horas)
B. paralelo 2 bombas de nafta	operacional	0,999692	A = 1	f1 = 2	m1 = 3246	T3 = 21,09E+6
	degradado	3,08E-4	—	f2 = 2	m2 = 1	
	falha	4,7E-8	U = 4,7E-8	f3 = 3,08E-4	m3 = 1	
UTS. planta fabril	operacional	P1 = 0,7532 (0,5582)	A = 0,9914	—	—	—
	degradado	P2 = 0,2382 (0,4332)	—	—	—	—
	falha	P3 = 0,0086	U = 0,0086	—	—	—

Tabela 3.5: Resultados da Simplificação Estrutural

Estes números confirmam a Lei dos Acréscimos Decrescentes que aponta para uma sucessão de crescimentos marginais cada vez menores do índice de disponibilidade operacional a partir do fornecimento do primeiro órgão ou peça de reserva, ou seja, a indisponibilidade dos processos fabris decresce à medida que se vão introduzindo redundâncias até ela própria atingir um certo valor limite [Billinton & Allan, 1983]. O aumento relativo da Probabilidade de Permanência em modo Operacional resulta por seu turno do simples facto de se terem eliminado redundâncias ou, melhor, porque há menos eventos para agrupar no estado de funcionamento degradado (cf. Tabelas 3.3 e 3.4).

Notar que a opção pelo desmantelamento da Incineradora depende por um lado da estratégia de negócio seguida num dado momento (isto é, se a gama operatória inclui ou não a transformação de matérias das categorias 1 e 2) e por outro, do índice de optimismo do decisor quanto ao risco que irá correr por aceitar um tempo de indisponibilidade parcial de  $66 \text{ h.ano}^{-1}$ , considerando que a Sala de Vapor é constituída somente por duas caldeiras que formam um paralelo parcialmente redundante e por conseguinte, de haver com esta configuração específica um risco de paragem sincronizada em mais do que uma Linha de Transformação.

### 3.5 Modelação e Propagação da Incerteza dos Parâmetros de Fiabilidade

A análise de fiabilidade dos sistemas fabris é frequentemente dominada pela incerteza e esta tem normalmente a sua origem em fontes tão distintas quanto: a habitual insuficiência ou até mesmo a inexistência de registos temporais das ocorrências; uma percepção simultaneamente subjectiva e vaga dos especialistas em relação aos mecanismos aleatórios geradores dos ciclos de falha e reparação; bem como o conhecimento imperfeito acerca das relações de interdependência entre as múltiplas facetas dos factores de risco presentes na planta fabril, principalmente ao nível dos requisitos de missão, desempenho, manutenibilidade e segurança que à semelhança do que se disse anteriormente, dependem fortemente das condições de exploração locais e são ao mesmo tempo responsáveis por uma certa ambiguidade e contradição nos valores das estimativas.

Com efeito, em virtude dos incessantes avanços tecnológicos e da diversidade de condições de laboração e acima de tudo, da escassez de dados experimentais e de observações no terreno, verifica-se em muitas circunstâncias uma efectiva dificuldade em seleccionar as distribuições de probabilidade apropriadas e estimar com o grau de confiança requerido os parâmetros básicos de fiabilidade. Nestas situações existe naturalmente o maior interesse em recolher a opinião de peritos no sentido de apreender toda a incerteza que domina a quantificação das características operacionais (i.e. as taxas de falha e os tempos médios de reparação). Acresce ainda uma certa tendência actual para considerar restritiva a utilização de valores rígidos (médios) para explicar a variabilidade inerente destes parâmetros ainda que as estatísticas sejam produzidas a partir de uma distribuição de probabilidade seleccionada com base em testes à qualidade do ajustamento. De facto, num quadro inicial de optimização é mais importante hierarquizar cenários alternativos

do que possuir elementos precisos relativamente a taxas de falha e de reparação. Além do mais, os resultados de simulações efectuadas com modelos probabilísticos baseados em parâmetros rígidos não podem ser encarados como representativos do espectro completo de resultados.

A teoria dos conjuntos difusos introduz uma nova dimensão nos modelos de fiabilidade clássicos e mostra ser adequada em termos conceptuais para tratar toda esta incerteza de natureza não probabilística que acompanha a informação de entrada nos modelos analíticos e também para a transmitir correctamente num único ciclo de simulação aos índices de desempenho. Assim, os modelos de fiabilidade preservam a sua componente probabilística, dado que o comportamento dos sistemas continua a ser descrito por intermédio de processos estocásticos (markovianos ou não) e ao mesmo tempo adquirem uma componente difusa que advém da inclusão da incerteza que incide sobre a opinião dos peritos acerca dos parâmetros de *input* nas expressões analíticas das medidas de desempenho.

Regra geral, a inclusão de parâmetros difusos nos estudos de fiabilidade origina dificuldades de cálculo acrescidas. A aritmética intervalar e o princípio da extensão constituem os dois principais métodos usados nas operações com números difusos. Infelizmente, nem sempre se conseguem avaliar os índices de fiabilidade através de uma simples substituição dos parâmetros rígidos por taxas difusas para calcular depois os seus valores extremos a partir dos valores extremos dos parâmetros e da respectiva expressão analítica. Nestas circunstâncias e devido à complexidade dos modelos analíticos das medidas de desempenho dos sistemas markovianos, os resultados alcançados com estes métodos evidenciam uma dispersão superior aquela que é minimamente aceitável e inicialmente induzida pela incerteza contida nos parâmetros [Nunes, 2005].

Ora, a questão que surge de imediato é saber qual a forma adequada de transmitir aos índices de desempenho a incerteza contida nos parâmetros. A metodologia seguida neste trabalho e que mais adiante teremos oportunidade de enunciar melhor, assenta no princípio da extensão e na discretização das variáveis de *input* através da aplicação de uma série de intervalos de corte- $\alpha$  nas respectivas funções de pertença [*ibidem*; Nunes et al., 2006].

### 3.5.1 Conceitos Básicos

Um conjunto difuso  $\tilde{A}$  pode ser descrito em termos matemáticos atribuindo a cada elemento  $x$  do seu universo de discurso  $X$  definido na recta real  $\Re$  um valor que indique o seu grau de pertença a  $\tilde{A}$  [Klir e Yuan, 1995]:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x) : x \in \Re\} \quad (3.26)$$

Onde: o contradomínio da função de pertença  $\mu_{\tilde{A}}$  pode ser qualquer mas por uma questão de simplicidade e convenção é considerado o intervalo  $[0,1]$  e portanto:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (3.27)$$

Um outro conceito importante dos conjuntos difusos diz respeito aos cortes- $\alpha$  [*ibidem*]. Dado um conjunto difuso  $\tilde{A}$  e um número  $\alpha \in [0,1]$ , o corte- $\alpha$  determina um intervalo cujos elementos têm um grau de pertença a  $\tilde{A}$  maior ou igual a  $\alpha$ , ou seja:

$${}^{\alpha}A = \{x : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (3.28)$$

A representação gráfica de um conjunto difuso através da sua função de pertença é vulgarmente conhecida como representação vertical (*vide* Figura 3.8). Em alternativa, também se pode fazê-lo aplicando os cortes- $\alpha$ , construindo a chamada representação horizontal em forma de curvas de nível alfa que corresponde à família de todos os cortes- $\alpha$  do conjunto difuso  $\{{}^{\alpha}A : \alpha \in (0,1]\}$ .

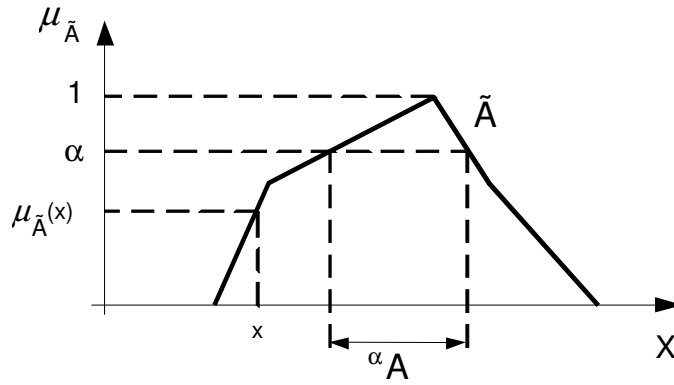


Figura 3.8: Representação de um Conjunto Difuso  $\tilde{A}$

A partir dos cortes- $\alpha$  também se pode determinar o valor de pertença de qualquer elemento  $x$  a  $\tilde{A}$  de acordo com a seguinte expressão [Dubois et al., 2000]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \sup\{\alpha \in (0,1] : x \in {}^{\alpha}A\} \quad (3.29)$$

O suporte  $S(\tilde{A})$  de um conjunto difuso é o conjunto  ${}^{0+}A$  e engloba todos os elementos de  $X$  que possuem um grau de pertença a  $\tilde{A}$  positivo. O núcleo de um conjunto difuso corresponde ao conjunto  ${}^1A$ , isto é, o conjunto dos elementos de  $X$  que verificam  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ . Um conjunto difuso diz-se normal se existe pelo menos um valor de  $x$  tal que  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$  e subnormal quando para todos os elementos  $x$  de  $X$ ,  $\mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ .

Um subconjunto difuso  $\tilde{B}$  igualmente definido na recta real  $\Re$  e com uma função de pertença  $\mu_{\tilde{B}}(x) : \Re \rightarrow [0,1]$  é um número difuso se apresentar as seguintes propriedades [Grzegorzewski & Hryniewicz, 2002]:

1.  $\tilde{B}$  é um conjunto difuso convexo, tal que:

$$\mu_{\tilde{B}}(\delta x_i + (1 - \delta)x_j) \geq \mu_{\tilde{B}}(x_i) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x_j), \forall x_i, x_j \in \Re, \forall \delta \in [0,1];$$

2.  $\tilde{B}$  é um conjunto difuso normal;

3.  $\mu_{\tilde{B}}$  é semi-contínua superior;

4.  $S(\tilde{B})$  é limitado.

Os números difusos foram originalmente concebidos como *L-R fuzzy numbers* [Dubois & Prade, 1980]. Deste modo, a função de pertença  $\mu_{\tilde{B}}$  de um número difuso  $\tilde{B}$  é caracterizada por duas funções,  $\omega_{\tilde{B}}, \xi_{\tilde{B}} : \Re \rightarrow [0,1]$ , onde  $\omega_{\tilde{B}}$  constitui uma função não decrescente e representa o ramo esquerdo ascendente e  $\xi_{\tilde{B}}$  uma função não crescente que descreve o ramo direito descendente. Por conseguinte, a função de pertença  $\mu_{\tilde{B}}$  pode traduzir-se do seguinte modo:

$$\mu_{\tilde{B}}(x) = \begin{cases} 0, & x < b_1 \\ \omega_{\tilde{B}}(x), & b_1 \leq x \leq b_2 \\ 1, & b_2 \leq x \leq b_3 \\ \xi_{\tilde{B}}(x), & b_3 \leq x \leq b_4 \\ 0, & b_4 \leq x \end{cases} \quad (3.30)$$

Por uma questão de simplicidade assume-se que as funções  $\omega_{\tilde{B}}$  e  $\xi_{\tilde{B}}$  são lineares. Neste caso o número difuso  $\tilde{B}$  adquire uma forma trapezoidal (*vide* Figura 3.9) e a sua função de pertença  $\mu_{\tilde{B}}$  é definida da seguinte forma:

$$\mu_{\tilde{B}}(x) = \begin{cases} 0, & x < b_1 \\ (x - b_1)/(b_2 - b_1), & b_1 \leq x \leq b_2 \\ 1, & b_2 \leq x \leq b_3 \\ (x - b_4)/(b_3 - b_4), & b_3 \leq x \leq b_4 \\ 0, & b_4 \leq x \end{cases} \quad (3.31)$$

O número difuso trapezoidal  $\tilde{B}$  pode ser expresso por uma sequência de quatro variáveis reais  $[b_1, b_2, b_3, b_4]$ , designada por quádruplo [Kuchta, 2001], onde  $-\infty < b_1 \leq b_2 \leq b_3 \leq b_4 < +\infty$ .

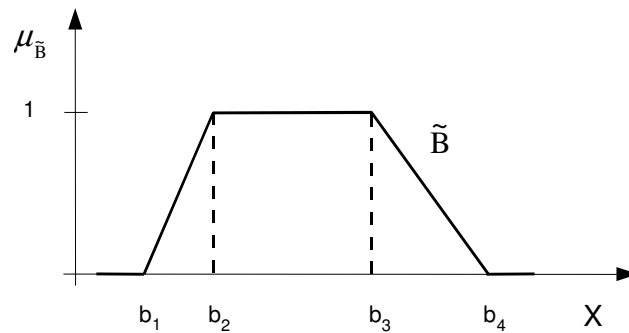


Figura 3.9: Representação de um Número Difuso Trapezoidal  $\tilde{B}$

Os valores contidos no intervalo central  $[b_2, b_3]$  constituem o núcleo de  $\tilde{B}$ , enquanto os limites inferior  $b_1$  e superior  $b_4$  definem o seu suporte  $S(\tilde{B})$  ou, melhor, a dispersão máxima da função de pertença  $\mu_{\tilde{B}}$ . O tétaplo  $[b_1, b_2, b_3, b_4]$  com  $b_1 = b_2 = b_3 = b_4$  representa um número rígido.

### 3.5.2 Aritmética Difusa

A noção de número difuso impulsionou o desenvolvimento de uma ferramenta fundamental para muitas áreas técnicas, a denominada aritmética difusa que permite a execução das operações aritméticas elementares com números difusos recorrendo habitualmente à aritmética intervalar ou ao princípio da extensão.

Por um lado, o número difuso pode ser decomposto numa série de intervalos de corte- $\alpha$  para diferentes graus de pertença  $\alpha$ . Deste modo conseguem-se reduzir as operações aritméticas com números difusos à aritmética intervalar [Dubois & Prade, 1980; Kaufmann & Gupta, 1991].

Sejam então  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  dois números difusos caracterizados pelas respectivas funções de pertença  $\mu_{\tilde{A}}(x), x \in \mathfrak{R}$  e  $\mu_{\tilde{B}}(y), y \in \mathfrak{R}$  e  $\otimes$  uma das quatro operações aritméticas elementares  $(+, -, \times, \div)$  definidas para intervalos fechados de números reais. O número difuso  $\tilde{A} \otimes \tilde{B}$  é representado de uma forma única pelos seus cortes- $\alpha$ , tal que:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]}^{\alpha} (\tilde{A} \otimes \tilde{B}) \quad (3.32)$$

Para um determinado valor de  $\alpha$ , vem:

$$^{\alpha}(\tilde{A} \otimes \tilde{B}) = ^{\alpha}\tilde{A} \otimes ^{\alpha}\tilde{B} \quad (3.33)$$

Quando  $\otimes$  simboliza a operação de divisão torna-se necessário que  $0 \notin ^{\alpha}\tilde{B}, \forall \alpha \in (0,1]$ .

Por outro lado, o princípio da extensão [Zadeh, 1978] permite alargar o âmbito clássico do cálculo analítico a todas as operações com variáveis difusas. Considerando os números difusos acima descritos e uma função arbitrária  $f$ , o resultado da operação binária  $\tilde{C} = f(\tilde{A}, \tilde{B})$  é determinado pela seguinte expressão:

$$\mu_{\tilde{C}}(z) = \sup_{z=f(x,y)} \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\} \quad (3.34)$$

### 3.5.3 Princípio da Extensão com Cortes- $\alpha$

Tal como anteriormente se referiu, esta metodologia assenta na discretização das variáveis de *input* e no princípio da extensão. A discretização de uma variável difusa  $\tilde{x}_i$  efectua-se a partir da decomposição da respectiva função de pertença numa série de intervalos equidistantes de corte- $\alpha$ , designados  $I_{\alpha}$ . Cada um destes intervalos define dois pontos no conjunto  $C_{\tilde{x}_i}$ , i.e. o conjunto

difuso discreto de uma variável de *input* que integra a expressão analítica do índice de fiabilidade (vide Figura 3.10).

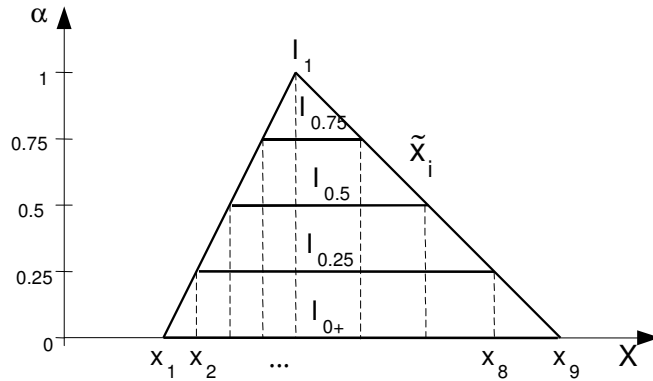


Figura 3.10: Discretização de uma Variável Difusa por Intermédio de Cortes- $\alpha$

Esta abordagem pode ser descrita de forma breve por um algoritmo composto de cinco passos:

*Passo 1:* Obter o conjunto  $C_{\tilde{x}_i}$  através da aplicação de cortes- $\alpha$  nas variáveis de *input* do modelo, tal como se mostra na figura anterior;

*Passo 2:* Calcular um valor no espaço de resultados para cada  $n$ -uplo ou combinação de valores retirados dos respectivos conjuntos difusos discretos das variáveis de *input* que fazem parte do modelo analítico da medida de desempenho;

*Passo 3:* Avaliar o grau de pertença de cada um dos resultados pelo menor valor de pertença dos elementos das combinações envolvidos anteriormente no seu cálculo;

*Passo 4:* Quando dois (ou mais)  $n$ -uplos produzem um resultado idêntico é-lhe atribuído o maior valor de pertença entre os graus de pertença desse conjunto de resultados;

*Passo 5:* Do conjunto de resultados com igual grau de pertença só se consideram os valores máximo e mínimo para efeitos de construção da função de pertença do espaço de resultados.

Sejam  $I \rightarrow (x_{ir}, x_{js}, \dots, x_{nt})$  e  $Q \rightarrow (x_{in}, x_{jv}, \dots, x_{nz})$  duas combinações distintas de valores das variáveis de *input*  $\tilde{x}_i, \tilde{x}_j, \dots, \tilde{x}_n$ , com  $\tilde{x}_{ir}, \tilde{x}_{in} \in C_{\tilde{x}_i}$ ,  $\tilde{x}_{js}, \tilde{x}_{jv} \in C_{\tilde{x}_j}$  e  $\tilde{x}_{nt}, \tilde{x}_{nz} \in C_{\tilde{x}_n}$ . Os resultados obtidos no passo 2 para cada  $n$ -uplo equivalem a  $y_I = f(x_{ir}, x_{js}, \dots, x_{nt})$  e  $y_Q = f(x_{in}, x_{jv}, \dots, x_{nz})$ , com valores de pertença calculados no terceiro passo por  $\mu(y_I) = \min\{\mu(x_{ir}), \mu(x_{js}), \mu(x_{nt})\}$  e  $\mu(y_Q) = \min\{\mu(x_{in}), \mu(x_{jv}), \mu(x_{nz})\}$ , respectivamente.

Se  $y_I = y_Q$ , então pelo passo 4 temos:

$$\mu(y_I) = \mu(y_Q) = \max[\min\{\mu(x_{ir}), \mu(x_{js}), \mu(x_{nt})\}; \min\{\mu(x_{in}), \mu(x_{jv}), \mu(x_{nz})\}] = \max[\mu(y_I); \mu(y_Q)].$$

Por último, definindo  $O_\alpha$  como o conjunto de resultados com igual grau de pertença ou, melhor, o intervalo de corte- $\alpha$  da função de pertença do espaço de resultados, surge de imediato que tanto o maior como o menor dos seus valores definem dois pontos da distribuição de possibilidades do *output*. Repetindo este quinto passo para todos os valores de  $\alpha$  considerados inicialmente na discretização das variáveis de *input*, obtém-se um conjunto de pares de pontos com os quais se traça a respectiva função de pertença.

### 3.5.4 Exemplo de Aplicação

Por uma questão de simplicidade elegeu-se a Linha 3 como objecto de estudo preferencial para mostrar a aplicação da Teoria dos Conjuntos Difusos aos estudos de fiabilidade em ambiente de elevada incerteza e também para ilustrar o modo especial como a incerteza inicialmente contida nos parâmetros de fiabilidade foi transmitida aos índices de desempenho. Nesta aplicação e uma vez que se trata de um sistema tecnológico, importa fundamentalmente considerar o indicador de disponibilidade operacional. A combinação de estados individuais em categorias próprias, tais como os estados acumulados de falha, de funcionamento degradado e operacional transita da formulação original do modelo de Markov. As distribuições de possibilidade quer da probabilidade de permanência nos estados individuais quer nos estados acumulados pretendem naturalmente reproduzir este arranjo. Os valores rígidos das probabilidades de estado e das taxas de transição exibidos em primeiro e segundo planos na Figura 3.11 reportam ainda aos cenários projectado e nominal e servirão daqui em diante de termo de comparação com os respectivos espaços de resultados e parâmetros difusos trapezoidais.

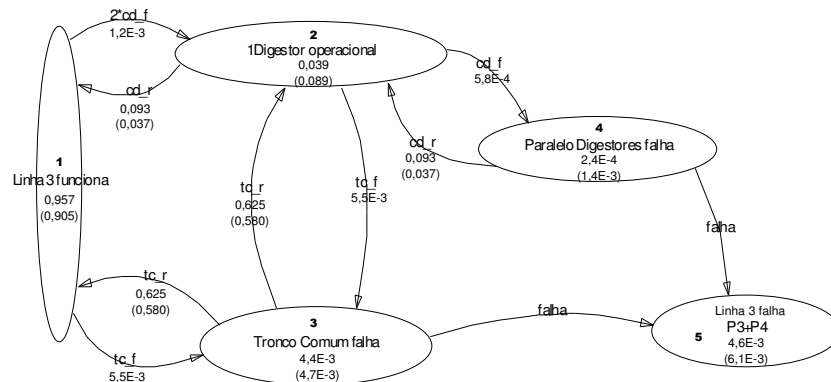


Figura 3.11: Diagrama de Estados da Linha 3: Sangue M3

Nesta aplicação, o grau de pertença ao conjunto difuso pode ser interpretado como um grau de semelhança que cada elemento do universo de discurso exhibe em relação ao conceito central ou entidade ideal representada por esse conjunto, admitindo que existe pelo menos um elemento ideal cujo grau de pertença ao conjunto é máximo. Em última análise deverá traduzir a maior ou menor possibilidade de ocorrência de cenários difusos ou, se quisermos, o grau de confiança dos especialistas nos valores das estimativas ou, ainda, o entendimento que o analista vai tecendo acerca do quadro actual do ambiente técnico e da sua perspectiva de evolução a curto prazo.



As setas inseridas nas Figuras 3.12 e 3.13 apontam para os valores rígidos dos parâmetros básicos de fiabilidade utilizados para compor os cenários ditos nominal e projectado do ambiente técnico da manutenção, através das expressões (2.1) e (2.2) respeitantes às taxas de falha e reparação equivalentes. Notar que ambos os intervalos de confiança máximos referentes aos conjuntos de corte de nível  $\alpha = 1$  compreendem os valores considerados simultaneamente plausíveis nesses dois cenários de simulação do modelo probabilístico clássico (cf. Tabela 2.1).

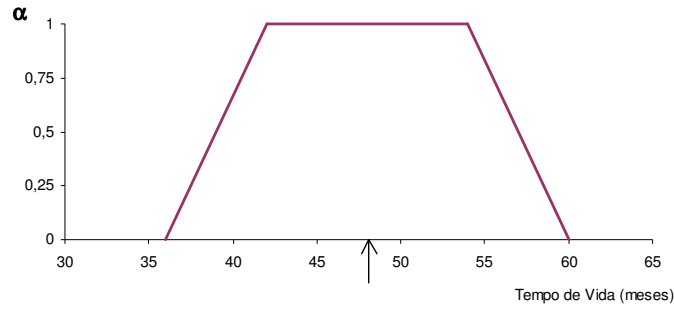


Figura 3.12: Tempo de Vida Difuso (Veios dos Digestores)

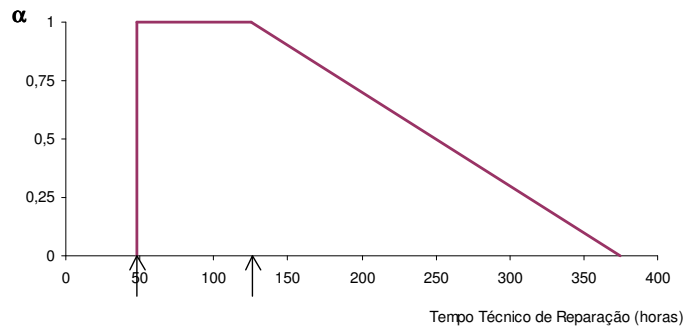


Figura 3.13: Tempo Técnico de Reparação Difuso (Veios dos Digestores)

Em virtude da simplicidade das expressões (2.1) e (2.2), os parâmetros de *input* nos modelos analíticos das medidas de desempenho dos sistemas markovianos podem calcular-se recorrendo unicamente à aritmética intervalar, embora o mesmo não seja válido relativamente aos índices de fiabilidade propriamente ditos. O resultado final desse exercício de substituição de valores rígidos por tempos e taxas difusas apresenta-se a seguir na forma de quádruplos:

$$\tilde{\lambda}_{tc} = (2827 \times 10^{-6}, 5221 \times 10^{-6}, 5905 \times 10^{-6}, 13659 \times 10^{-6});$$

$$\tilde{\lambda}_d = (412 \times 10^{-6}, 492 \times 10^{-6}, 622 \times 10^{-6}, 821 \times 10^{-6});$$

$$\tilde{\mu}_{tc} = (39 \times 10^{-3}, 507 \times 10^{-3}, 714 \times 10^{-3}, 4246 \times 10^{-3});$$

$$\tilde{\mu}_d = (5 \times 10^{-3}, 26 \times 10^{-3}, 124 \times 10^{-3}, 196 \times 10^{-3}).$$

A relação de correspondência entre os parâmetros de entrada nos modelos clássico e difuso de fiabilidade é tal que:  $\lambda_{tc} \equiv tc_f$ ;  $\lambda_d \equiv cd_f$ ;  $\mu_{tc} \equiv tc_r$ ;  $\mu_d \equiv cd_r$ . Como se pode ver pelo Diagrama de Estados, os valores das taxas de transição simples relativas aos dois cenários simulados do ambiente técnico ainda permanecem no núcleo dos respectivos parâmetros difusos trapezoidais.

A inclusão da incerteza que domina o julgamento dos peritos (e que tão bem é apreendida pelos parâmetros difusos) nas expressões de probabilidade limite de permanência do processo fabril nos diferentes estados individuais e acumulados processa-se conforme o algoritmo apresentado na subsecção 3.5.3, agora aperfeiçoado com este exemplo de aplicação:

### Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 1

Expressão da probabilidade do estado 1 em regime estacionário:

$$P_1 = \frac{\mu_d (\lambda_{tc} + 2\mu_d) \times \mu_{tc}}{4\lambda_d^2 \mu_{tc} + \mu_d (\lambda_{tc} + \mu_d) (\lambda_{tc} + 2\mu_{tc}) + \lambda_d (4\mu_d \mu_{tc} + \lambda_{tc} (2\mu_d + \mu_{tc}))}$$

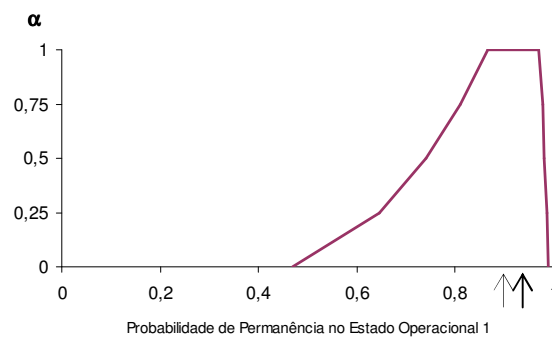


Figura 3.14: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 1

Nas colunas 1 e 2 das tabelas seguintes mostram-se os valores segundo os quais se produziram as distribuições de possibilidade das probabilidades de estado patentes nos gráficos das figuras que os precedem. Nas restantes colunas dessas tabelas apresentam-se também os valores dos parâmetros de *input* resultantes da aplicação de cortes- $\alpha$  às respectivas funções de pertença e com base nos quais se obtiveram os valores das probabilidades exibidos na coluna 1.

Prob. 1	$\alpha$	$\lambda_{tc}$	$\lambda_d$	$\mu_{tc}$	$\mu_d$
0.46855	0	0.013659	0.000821	0.039	0.005
0.645616	0.25	0.0117205	0.00077125	0.156	0.01025
0.741528	0.5	0.009782	0.0007215	0.273	0.0155
0.811344	0.75	0.0078435	0.00067175	0.39	0.02075
0.865741	1.	0.005905	0.000622	0.507	0.026
0.968746	1.	0.005221	0.000492	0.714	0.124
0.976456	0.75	0.0046225	0.000472	1.597	0.142
0.981474	0.5	0.004024	0.000452	2.48	0.16
0.985329	0.25	0.0034255	0.000432	3.363	0.178
0.988441	0	0.002827	0.000412	4.246	0.196

Tabela 3.6: Valores de  $P_1$  para 5 Cortes- $\alpha$  das Funções de Pertença dos Parâmetros de *Input*

**Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 2**

Expressão da probabilidade do estado 2 em regime estacionário:

$$P_2 = \frac{\mu_d(4\lambda_d + \lambda_{tc}) \times \mu_{tc}}{4\lambda_d^2 \mu_{tc} + \mu_d(\lambda_{tc} + \mu_d)(\lambda_{tc} + 2\mu_{tc}) + \lambda_d(4\mu_d \mu_{tc} + \lambda_{tc}(2\mu_d + \mu_{tc}))}$$

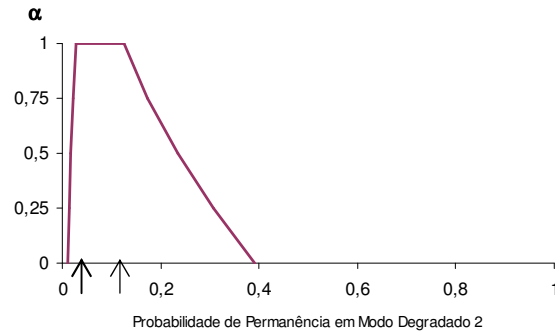


Figura 3.15: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 2

Prob. 2	$\alpha$	$\lambda_{tc}$	$\lambda_d$	$\mu_{tc}$	$\mu_d$
0.0108148	0	0.002827	0.000412	0.039	0.196
0.0139815	0,25	0.0034255	0.000432	0.156	0.178
0.0175502	0,5	0.004024	0.000452	0.273	0.16
0.021928	0,75	0.0046225	0.000472	0.39	0.142
0.0274621	1.	0.005221	0.000492	0.507	0.124
0.125695	1.	0.005905	0.000622	0.714	0.026
0.174456	0,75	0.0078435	0.00067175	1.597	0.02075
0.233964	0,5	0.009782	0.0007215	2.48	0.0155
0.307028	0,25	0.0117205	0.00077125	3.363	0.01025
0.389948	0	0.013659	0.000821	4.246	0.005

Tabela 3.7 Valores de  $P_2$  para 5 Cortes- $\alpha$  das Funções de Pertença dos Parâmetros de *Input*

**Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 3**

Expressão da probabilidade do estado 3 em regime estacionário:

$$P_3 = \frac{\lambda_{tc} \mu_d (2\lambda_d + \lambda_{tc} + \mu_d)}{4\lambda_d^2 \mu_{tc} + \mu_d(\lambda_{tc} + \mu_d)(\lambda_{tc} + 2\mu_{tc}) + \lambda_d(4\mu_d \mu_{tc} + \lambda_{tc}(2\mu_d + \mu_{tc}))}$$

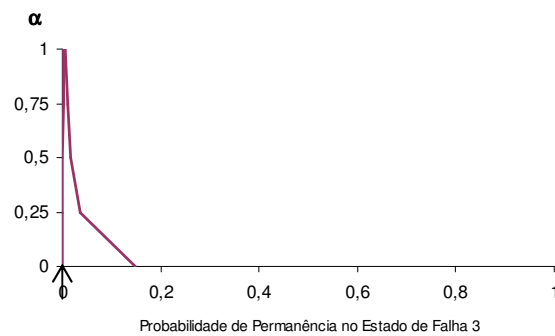


Figura 3.16: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 3

Prob. 3	$\alpha$	$\lambda_{tc}$	$\lambda_d$	$\mu_{tc}$	$\mu_d$
0.00031605	0	0.002827	0.000821	4.246	0.005
0.000500974	0.25	0.0034255	0.00077125	3.363	0.01025
0.000804467	0.5	0.004024	0.0007215	2.48	0.0155
0.00143879	0.75	0.0046225	0.00067175	1.597	0.02075
0.00363256	1.	0.005221	0.000622	0.714	0.026
0.00578907	1.	0.005905	0.000492	0.507	0.124
0.0099546	0.75	0.0078435	0.000472	0.39	0.142
0.0175988	0.5	0.009782	0.000452	0.273	0.16
0.0362026	0.25	0.0117205	0.000432	0.156	0.178
0.14901	0	0.013659	0.000412	0.039	0.196

Tabela 3.8: Valores de  $P_3$  para 5 Cortes- $\alpha$  das Funções de Pertença dos Parâmetros de *Input***Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 4**

Expressão da probabilidade do estado 4 em regime estacionário:

$$P_4 = \frac{\lambda_d (4\lambda_d + \lambda_{tc}) \mu_{tc}}{4\lambda_d^2 \mu_{tc} + \mu_d (\lambda_{tc} + \mu_d) (\lambda_{tc} + 2\mu_{tc}) + \lambda_d (4\mu_d \mu_{tc} + \lambda_{tc} (2\mu_d + \mu_{tc}))}$$



Figura 3.17: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 4

Prob. 4	$\alpha$	$\lambda_{tc}$	$\lambda_d$	$\mu_{tc}$	$\mu_d$
0.0000227332	0	0.002827	0.000412	0.039	0.196
0.0000339326	0.25	0.0034255	0.000432	0.156	0.178
0.0000495794	0.5	0.004024	0.000452	0.273	0.16
0.0000728874	0.75	0.0046225	0.000472	0.39	0.142
0.000108962	1.	0.005221	0.000492	0.507	0.124
0.003007	1.	0.005905	0.000622	0.714	0.026
0.00564775	0.75	0.0078435	0.00067175	1.597	0.02075
0.0108906	0.5	0.009782	0.0007215	2.48	0.0155
0.023102	0.25	0.0117205	0.00077125	3.363	0.01025
0.0640295	0	0.013659	0.000821	4.246	0.005

Tabela 3.9: Valores de  $P_4$  para 5 Cortes- $\alpha$  das Funções de Pertença dos Parâmetros de *Input***Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 5**

À semelhança de casos anteriores, a probabilidade de permanência em regime estacionário no estado de falha acumulado, isto é, o estado 5, corresponde simplesmente à reunião dos eventos

mutuamente exclusivos apropriados, ou seja, à soma das probabilidades limite de permanência nos estados 3 e 4 só que desta vez, efectuada em ordem aos níveis  $\alpha$  (vide Figura 3.18).

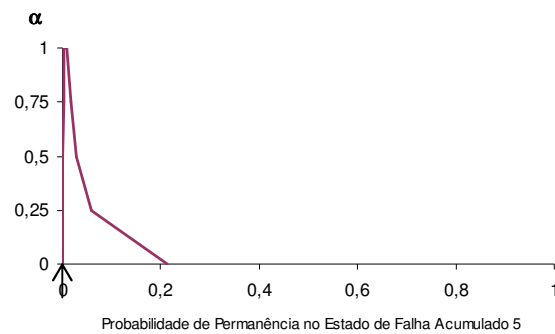


Figura 3.18: Distribuição de Possibilidades da Probabilidade do Estado 5

A terminar, resta confirmar pela localização do conjunto de ponteiros disseminados pelos gráficos anteriores que de facto, os resultados das simulações executadas com modelos probabilísticos baseados em parâmetros rígidos não podem ser encarados como representativos do espaço de resultados, nem tão-pouco esses modelos permitem completar uma análise de sensibilidade em apenas uma chamada da rotina de cálculo, dadas as inúmeras combinações de valores retirados dos respectivos conjuntos difusos discretos das variáveis de *input* que porventura componham a expressão analítica da medida de desempenho em causa. A circunstância do conjunto inteiro de setas apontar para o núcleo das distribuições de possibilidade dos indicadores de disponibilidade operacional constitui em si própria a evidência de uma transmissão correcta da incerteza contida nos parâmetros de *input* aos índices de fiabilidade.

A propósito de análise de sensibilidade valerá ainda a pena referir que uma vez conhecidas as distribuições de possibilidade das probabilidades limite de permanência nos diversos estados do sistema, pode avaliar-se o “risco” ou, antes, o valor de possibilidade que se encontra associado a cada uma das possíveis combinações de valores (rígidos) dos parâmetros de *input*:  $\lambda_{tc}$ ,  $\lambda_d$ ,  $\mu_{tc}$  e  $\mu_d$ .

## Conclusões e Trabalhos Futuros

A eficiência operacional dos sistemas fabris apoiados numa base tecnológica forte é activamente influenciada pela disponibilidade dos seus equipamentos. Como facilmente se constata da leitura dos quadros de resultados das simulações efectuadas com o modelo de probabilidade clássica, qualquer investimento realizado nesta área técnica por muito tímido que seja produz inicialmente um retorno apreciável, em grande parte devido a uma redução de custos com a indisponibilidade operacional (e que neste caso é fruto de uma revisão das políticas de reparação e do esforço de supervisão) sem esquecer as vias motivacional e cultural que como amplamente se reconhece, induzem um potencial de crescimento duradouro difícil de quantificar no imediato.

Os resultados deste trabalho apontam assim para um valor nominal do índice de disponibilidade operacional só por si equivalente ao valor esperado da eficiência dos sistemas tradicionais. Este dado é suficientemente eloquente sobre a verdadeira dimensão das perdas por indisponibilidade que afectam a generalidade das UTS. Regra geral, o desperdício justificado por ineficiências de qualidade e velocidade de processamento depende muito da eficácia do conjunto de medidas de autocontrolo implementadas no âmbito do sistema *HACCP* e até certo ponto reflecte uma relação inversa bem visível entre estas duas outras grandezas. Por outro lado, os quadros de simulação mostram de igual modo uma considerável margem de progressão inaugural daquele indicador ao nível da planta fabril, resultante unicamente de um programa de melhorias que no essencial se confunde com a promoção das medidas mais urgentes para o ambiente técnico da manutenção.

O quadro de modelação desenvolvido ao longo do capítulo anterior (e que recorre sobretudo ao método de selecção de cenários) demonstra possuir igualmente uma vocação apropriada para a avaliação dos sistemas dominados pela incerteza e escassez de dados de fiabilidade, ainda que em menor grau quando comparado com a abordagem difuso-probabilística. Reconhecemos aliás nesta incerteza, em consonância com outros autores, uma janela de possibilidades para conduzir uma análise de fiabilidade aos processos produtivos e de suporte com maior flexibilidade ou, se preferirmos, com menor rigidez. De facto, o interesse em recolher informação subjectiva junto de especialistas, designadamente naquelas situações de inexistência de dados experimentais ou de registo histórico das ocorrências requer depois por parte do analista, um exercício de apuramento inicial dos limites de variação do quadro operacional do ambiente técnico da manutenção que certamente não deixará de contribuir para uma percepção mais nítida acerca das relações de

interdependência entre as diversas facetas dos factores de risco presentes na planta fabril. Com base neste raciocínio será porventura mais fácil delinear um programa de acção apropriado ao contexto empresarial e introduzir no modelo com um grau de confiança elevado os valores mais admissíveis das características operacionais com vista à obtenção de respostas que mostrem um efectivo significado prático.

Por último, importa avançar algumas ideias sobre eventuais trabalhos futuros. À parte daquelas tarefas mais óbvias, tais como: a implementação e seguimento do programa de melhorias, para o qual se apresenta no Anexo F um Modelo de Registo dos Tempos de Falhas e Reparações que deverá ser colocado ao dispor dos operários o mais cedo possível com o intuito de construir uma nova base de dados ou histórico de fiabilidade (no sentido de avaliar com maior segurança o real alcance das medidas propostas, tanto ao nível do acréscimo da disponibilidade operacional como em matéria de redução de riscos); surge um outro processo que guarda em si mesmo a chave do sucesso para qualquer programa de melhoria contínua, i.e. a informação, consulta e participação do pessoal das áreas da manutenção e da produção, bem como a sua formação profissional nas técnicas de Manutenção Autónoma e no método de Mudança de Ferramenta em Menos de Dez Minutos (l. *SMED*), destinadas igualmente aos seus responsáveis técnicos, além dos habituais conteúdos relacionados com os modelos de gestão de *stocks* dos materiais de manutenção. Em suma, estímulos suficientes para tornar ainda mais aliciante esta profissão.

## Referências

- Assis, R. (2004) - Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção. Fiabilidade e Manutenibilidade. Lidel.
- Billinton, R. & Allan, R. N. (1983) - Reliability Evaluation of Engineering Systems. Plenum.
- Binh, P.T.T. & Khoa, T.Q.D. (2006) - "Application of fuzzy markov in calculating reliability of power systems". IEEE.
- Chen, C.-T. & Huang, S.-F. (2007) - "Applying fuzzy methods for measuring criticality in project network". International Journal of Information Sciences 177, pp. 2448-2458.
- Coimbra, E. (2000) - Fundamentos Kaizen. Kaizen Institute. Porto.
- Crowe, Dana et al. (2001) - "Failure Modes and Effects Analysis" & "Evaluating Product Risks". In Design for Reliability. CRC Press LLC.
- Cugnasca, P., Camargo Jr., J. & Andrade, M. (s.d.) - "A fuzzy method for the reliability and safety assessment of critical systems". <http://cse.ohio-state.edu>
- Dubois, D. & Prade, H (1980) - Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. Mathematics in Sciences and Engineering, Vol.144. Academic Press, New York.
- Dubois, D., Ostasiewicz, W. and Prade, H. (2000) - "Fuzzy Sets: History and Basic Notions. In Fundamentals of Fuzzy Sets. The Handbook of Fuzzy Sets Series. Kluwer Acad. Publ., 21-124.
- Faria, J. & Matos, M. (2001) - "An analytical methodology for the dependability evaluation of non-markovian systems with multiple components". Journal of Reliability Engineering and System Safety 74, pp. 193-210.
- Grzegorzewski, P. & Hryniewicz, O. (2002) - "Computing with words and life data". Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 12, N.º 3, pp.337-345.
- Hanss, M. (1999) - "On the implementation of fuzzy arithmetical operations for engineering problems". <http://citeseer.ist.psu.edu/344581.html>
- Kaufmann, A. & Gupta, M. (1991) - Introduction to Fuzzy Arithmetic. Van Nostrand Reinhold, NY.
- Klir, G. L. & Yuan, B. (1995) - Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications. New Jersey, Prentice Hall PRT.
- Kuchta, D. (2001) - "Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment". International Journal of Project Management 19, pp. 305-310.
- Lee, L.-W. & Chen, S.-M. (2007) - "Fuzzy risk analysis based on fuzzy numbers with different shapes and different deviations". Expert Systems With Applications, doi: 10.1016/j.eswa.2007.05.009
- Morais, L. (2005) - Desenvolvimento de Ferramentas para a Aplicação da Metodologia RAMS a Equipamentos Industriais. Tese de Mestrado. FEUP.
- Nunes, E. (2005) - Análise de Fiabilidade a Sistemas Não-Markovianos com Parâmetros Incertos. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Nunes, E., Faria, J. & Matos, M. (2006) - "Using fuzzy sets to evaluate the performance of complex systems when parameters are uncertain". Proceeding of Safety and Reliability for Managing Risk, Vol. 3, pp. 2351- 2359, Estoril September 18-22, 2006.
- Pires, A. R. (1999) - Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos. Edições Sílabo.



Pires, A. R. (2004) - Qualidade. Sistemas de Gestão da Qualidade. Edições Sílabo.

Ponnambalam, K. & Alguindigue, T. (1998) - A C++ Primer for Engineers. An Object-Oriented Approach. Computer Science Series. McGraw-Hill International Editions.

Press, W., Flannery, B., Teukolsky, S., & Vetterling, W. (1986) - Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press.

Pukite, J. & Pukite, P. (1998) - Modeling for Reliability Analysis. Markov Modeling for Reliability, Maintainability, Safety and Supportability Analysis of Complex Computer Systems. IEEE Press.  
<http://umn.edu/~puk/carms.html>

Richthofen, W. von (2002) - Inspeção do Trabalho. Um Guia da Profissão. Bureau Internacional do Trabalho (BIT). Tradução Portuguesa: IGT e OIT. Coimbra Editora, 2006.

Zadeh, L. A. (1978) - "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility". Fuzzy Sets and Systems, vol. 1, pp. 3-38.

Zhang, H., Tam, C. M. & Li, H. (2005) - "Modeling uncertain activity duration by fuzzy number and discret-event simulation". European Journal of Operational Research 164, pp.715-729.

## Regulamentos e Directivas Nacionais e Comunitárias

Decreto-Lei n.º 377/98, de 25 de Novembro.

[http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LN\\_19943\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LN_19943_1_0001.htm)

Directiva n.º 2000/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro.

[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/2000/l\\_332/l\\_33220001228pt00910111.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/2000/l_332/l_33220001228pt00910111.pdf)

Resolução do Conselho de Ministros n.º 161/2001, de 15 de Novembro.

[http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LN\\_24140\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LN_24140_1_0001.htm)

Decreto-Lei n.º 197/2002, de 25 de Setembro.

[http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA\\_LEGISLACAO/F\\_RESUMOS/F\\_TEXTOS\\_02/DL\\_197.HTM](http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA_LEGISLACAO/F_RESUMOS/F_TEXTOS_02/DL_197.HTM)

Regulamento (CE) n.º 1774/2002, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Outubro.

[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/2002/l\\_273/l\\_27320021010pt00010095.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/2002/l_273/l_27320021010pt00010095.pdf)

<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/f81001.htm>

Decreto-Lei n.º 244/2003, de 7 de Outubro.

[http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA\\_LEGISLACAO/F\\_LEGIS\\_2003/F\\_TEXTOS\\_03/DL\\_244.htm](http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA_LEGISLACAO/F_LEGIS_2003/F_TEXTOS_03/DL_244.htm)

Decreto-Lei n.º 122/2006, de 27 de Junho.

[http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA\\_LEGISLACAO/F\\_LEGIS\\_2006/TEXTOS\\_6/DL\\_122.PDF](http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/CA_LEGISLACAO/F_LEGIS_2006/TEXTOS_6/DL_122.PDF)

---

## Diagramas Funcionais e de Fluxo de Matérias e Informação

## SISTEMA FABRIL

DIAGRAMA DE FLUXO DE  
MATÉRIAS E INFORMAÇÃO

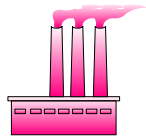
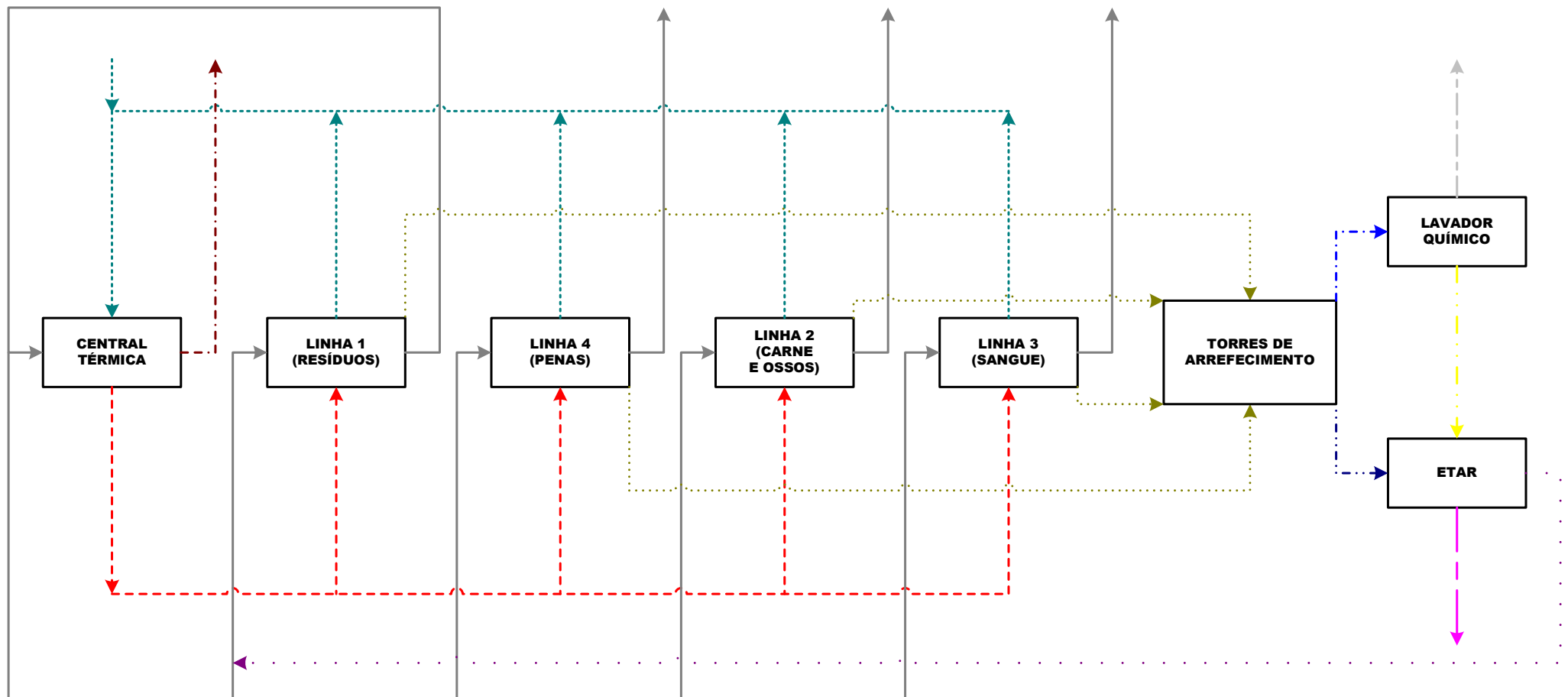


DIAGRAMA GERAL

DIAGRAMA GERAL DE FLUXOS



- |   |  |
|---|--|
| —→ Fluxo de Matérias e Combustíveis (Subprodutos, Farinhas, Gorduras e Nafta) | - - - - -→ Fluxo de Incondensados (Bolos Digestivos)                 |
| - - - - -→ Fluxo de Vapor (Tratamentos Térmicos)                              | - . . . .→ Fluxo de Condensados (Bolos Digestivos)                   |
| - . . . .→ Fluxo de Purga e Reciclagem de Condensados (Tratamentos Térmicos)  | - - - - -→ Ar Limpo (Absorção de Contaminantes e Controlo de Odores) |
| - . . . .→ Emissões Atmosféricas de Gases da Combustão                        | - . . . .→ Excesso das Soluções de Lavagem e Neutralização           |
| - . . . .→ Fluxo de Vapores Orgânicos (Bolos Digestivos)                      | - - - - -→ Efluente Tratado (Águas Subterrâneas)                     |
|   | - . . . .→ Fluxo de Lamas M2   |

## LINHAS DE PRODUÇÃO

### DIAGRAMAS DE FLUXO DE MATÉRIAS E INFORMAÇÃO



**LINHA 1:  
(RESÍDUOS +  
GORDURA) M2**

FARINHA DE CARNE E OSSOS M2: INCINERAÇÃO  
(TRATAMENTO DE RESÍDUOS)

GORDURAS ANIMAIS FUNDIDAS M2: QUEIMA  
(COMBUSTÍVEL INDUSTRIAL)



**LINHA 2:  
(CARNE E OSSOS +  
GORDURA) M3**

FARINHA DE CARNE E OSSOS M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(ANIMAIS DE COMPANHIA)

GORDURAS ANIMAIS FUNDIDAS M3: PRODUTOS TÉCNICOS  
(UNIDADES OLEOQUÍMICAS)



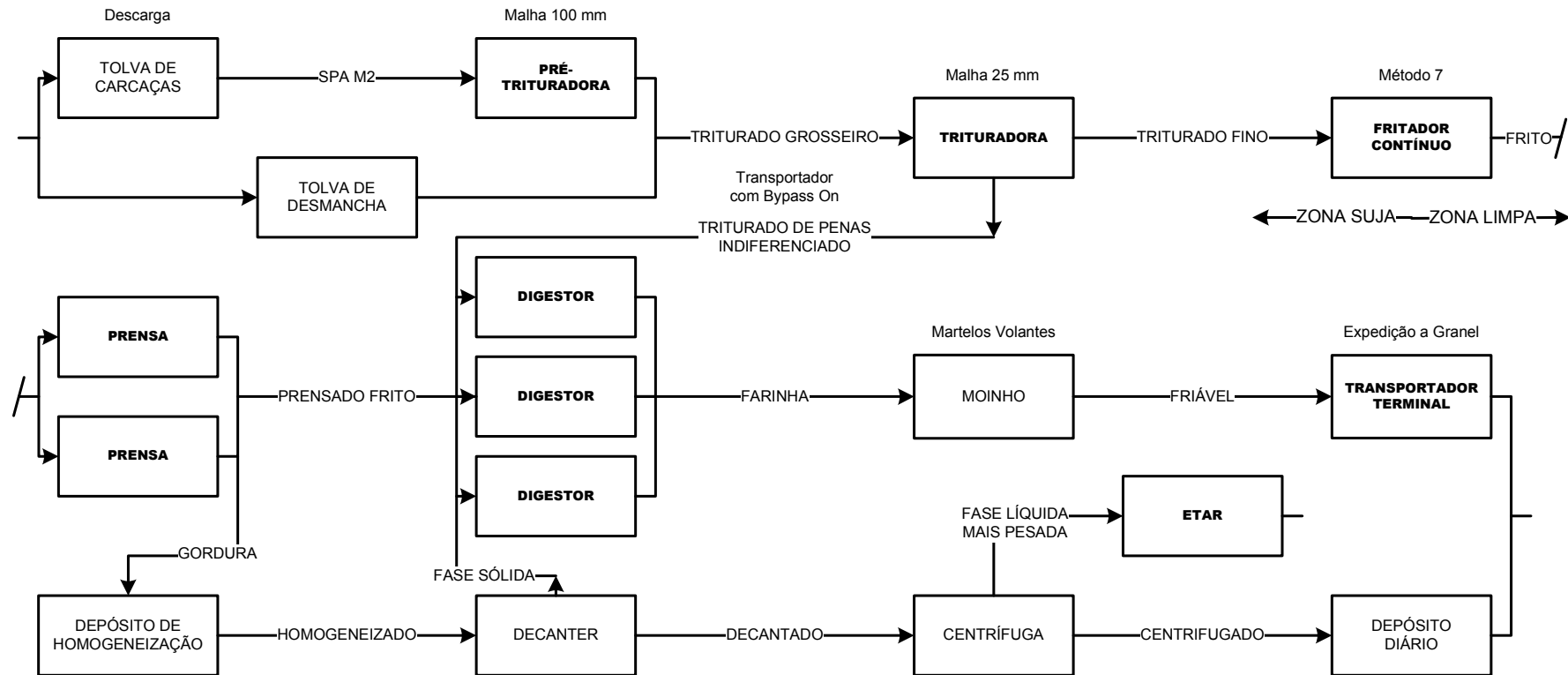
**LINHA 3:  
SANGUE M3**

FARINHA DE SANGUE M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(AQUICULTURA E ANIMAIS DE CRIAÇÃO)



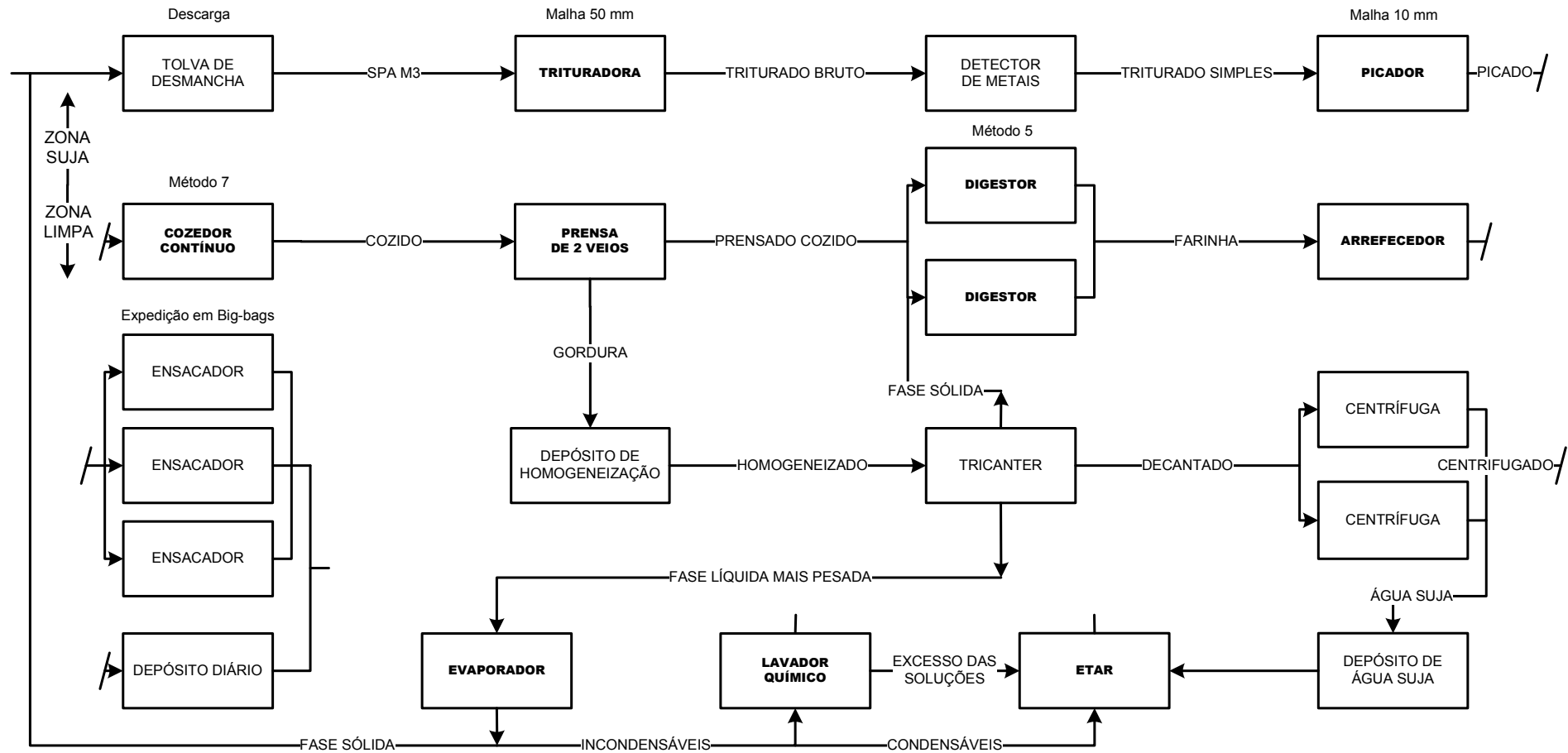
**LINHA 4:  
PENAS M3**

FARINHA DE PENAS M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(ANIMAIS DE COMPANHIA)

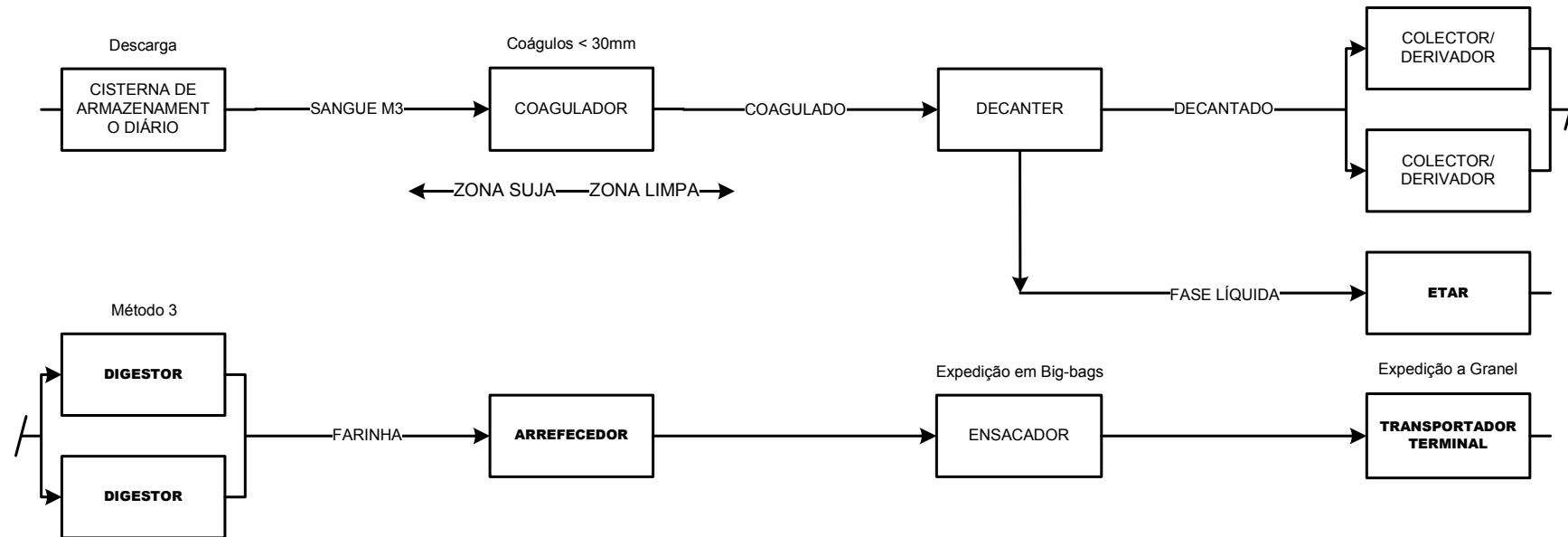


## APROXIMAÇÕES E SIMPLIFICAÇÕES DO MODELO DE FIABILIDADE

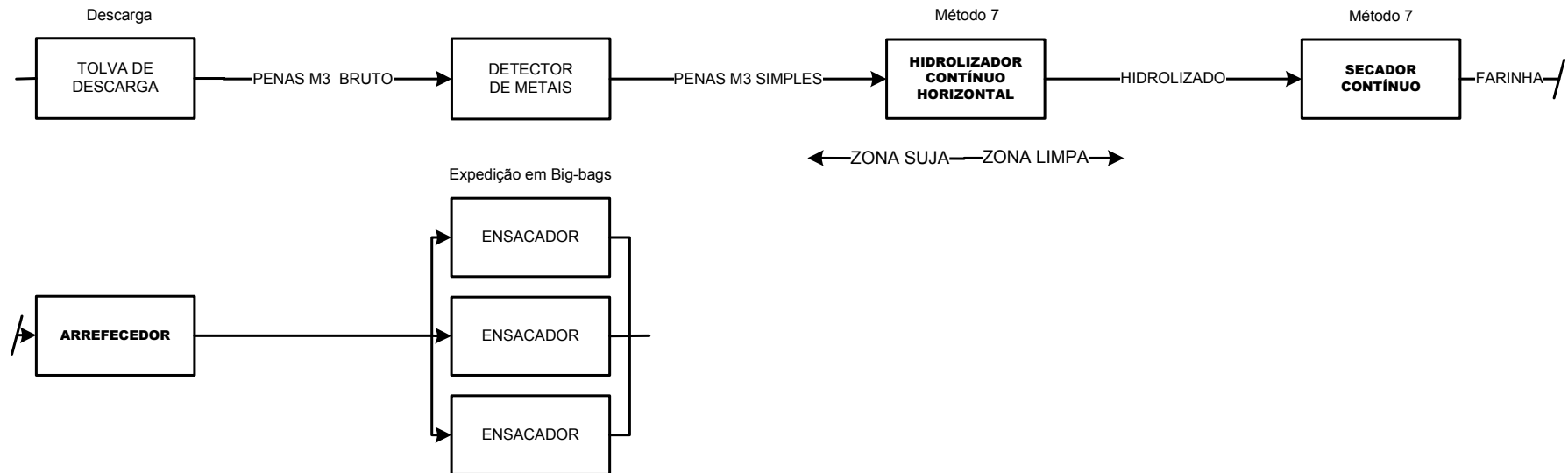
Os sistemas-paralelo aqui representados incluem tanto circuitos verdadeiramente alternativos para o cumprimento de uma única operação (veja-se o caso das redundâncias activas totais constituídas quer por prensas quer por digestores semelhantes) como também circuitos "quase-independentes" para o cumprimento integral de múltiplas missões ou apenas um dos seus segmentos, admitindo-se nestas duas últimas situações a inversão da perspectiva de fiabilidade dos diagramas funcionais, ou seja, aceita-se que a falha de qualquer um dos seus ramos poderá corresponder actualmente a uma falha parcial ou total da linha, dependendo em cada caso da viabilidade técnica da presença de acumuladores ou da maior ou menor relação de independência do fluxo de matérias. Por exemplo, a falha do circuito da farinha a jusante do paralelo de prensas implica naturalmente a paragem do circuito da gordura dada a elevada taxa de processamento conjunto ( $10 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ), enquanto na cabeceira da linha o adiamento da incorporação das matérias mais grosseiras acarretará sempre uma perda (económica, técnica ou ambiental) associada à indisponibilidade da pré-trituradora, logo que se atinja o balanceamento da produção. Por seu turno, os blocos destacados a negrito equivalem aos componentes/equipamentos tidos como críticos do ponto de vista do sucesso das missões.



### LINHA 3: SANGUE M3



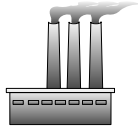
### LINHA 4: PENAS M3





## LINHAS DE PRODUÇÃO

### DIAGRAMAS FUNCIONAIS



**LINHA 1:  
(RESÍDUOS +  
GORDURA) M2**

FARINHA DE CARNE E OSSOS M2: INCINERAÇÃO  
(TRATAMENTO DE RESÍDUOS)

GORDURAS ANIMAIS FUNDIDAS M2: QUEIMA  
(COMBUSTÍVEL INDUSTRIAL)



**LINHA 2:  
(CARNE E OSSOS +  
GORDURA) M3**

FARINHA DE CARNE E OSSOS M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(ANIMAIS DE COMPANHIA)

GORDURAS ANIMAIS FUNDIDAS M3: PRODUTOS TÉCNICOS  
(UNIDADES OLEOQUÍMICAS)



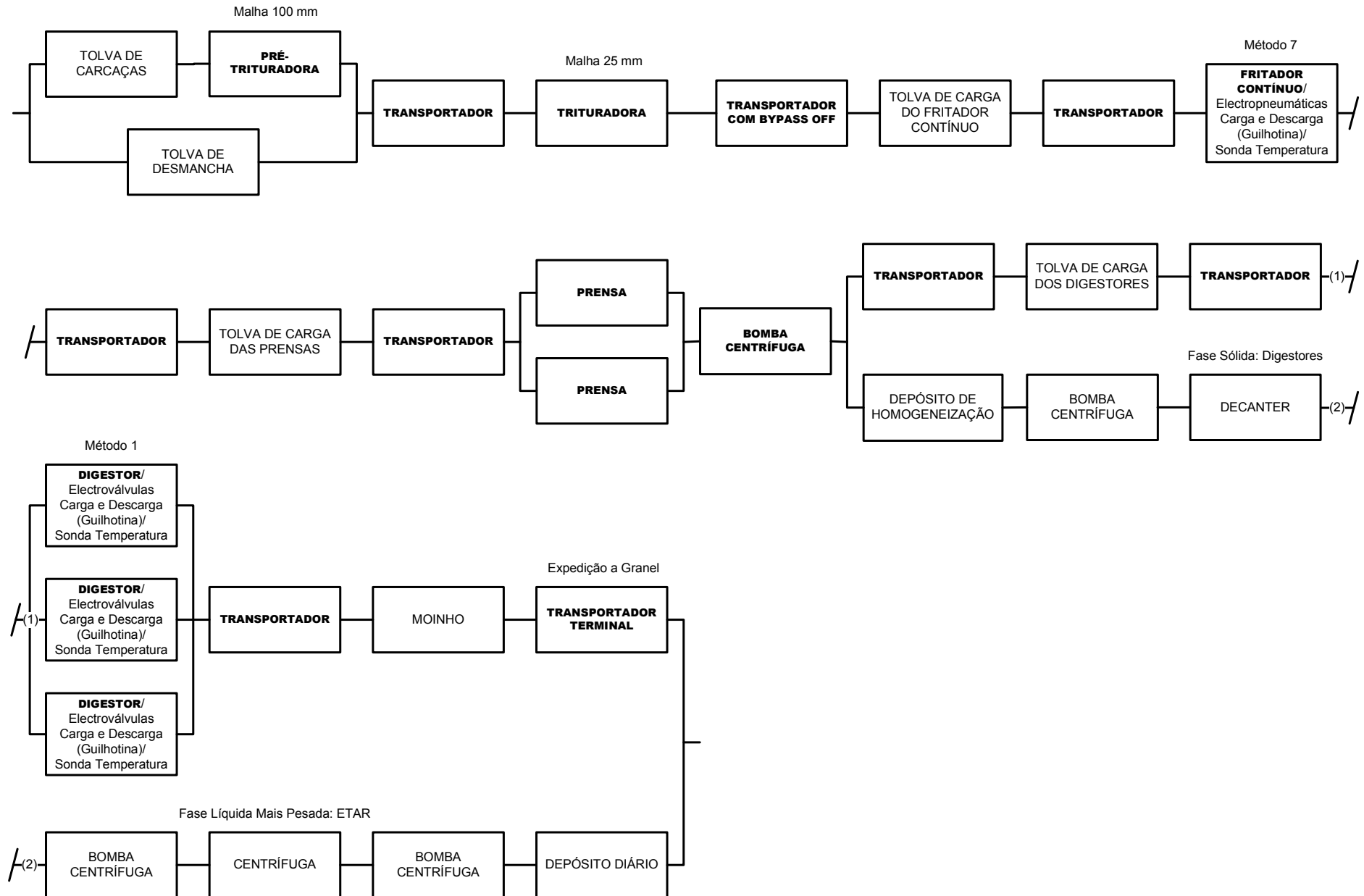
**LINHA 3:  
SANGUE M3**

FARINHA DE SANGUE M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(AQUICULTURA E ANIMAIS DE CRIAÇÃO)

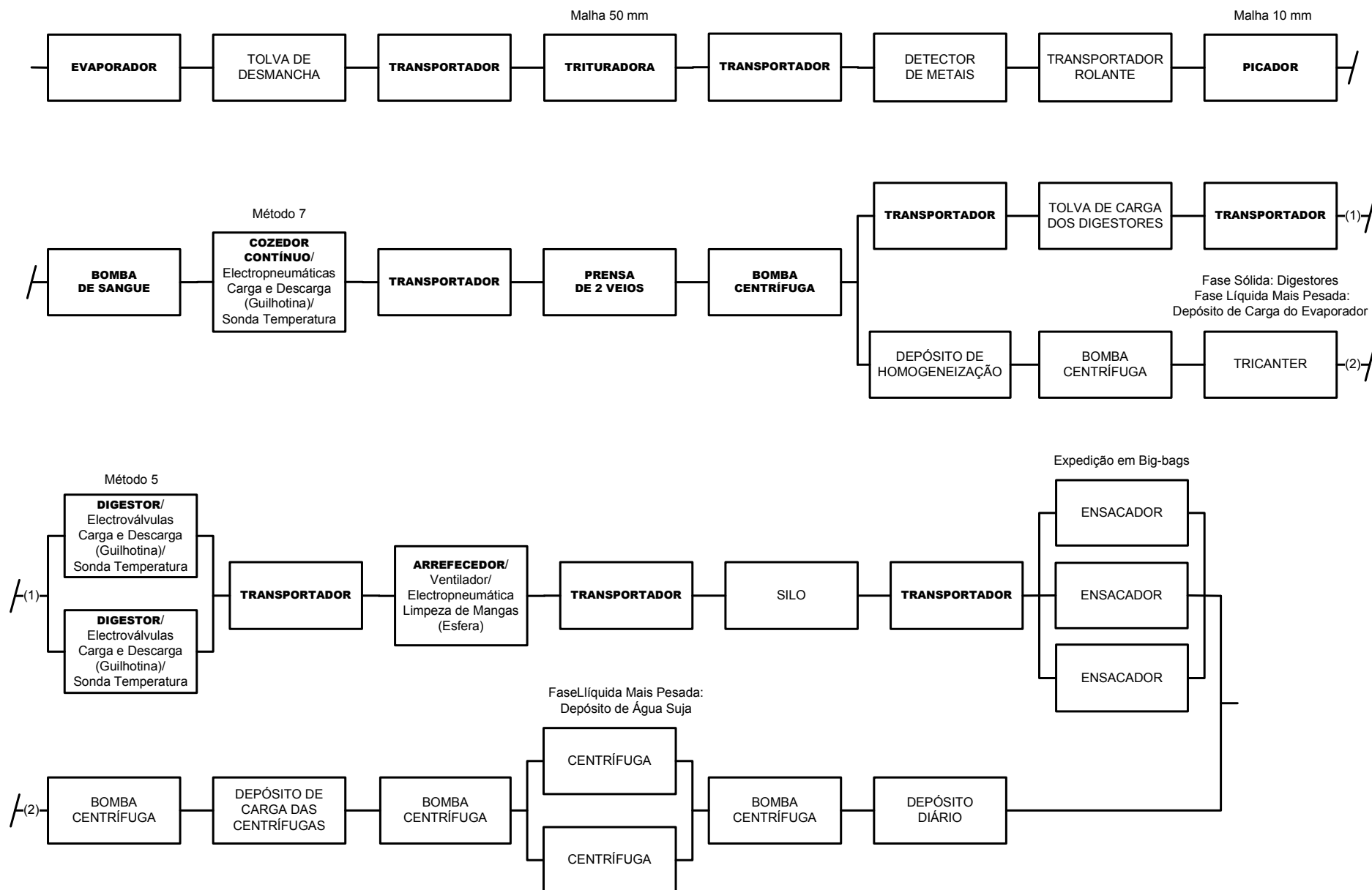


**LINHA 4:  
PENAS M3**

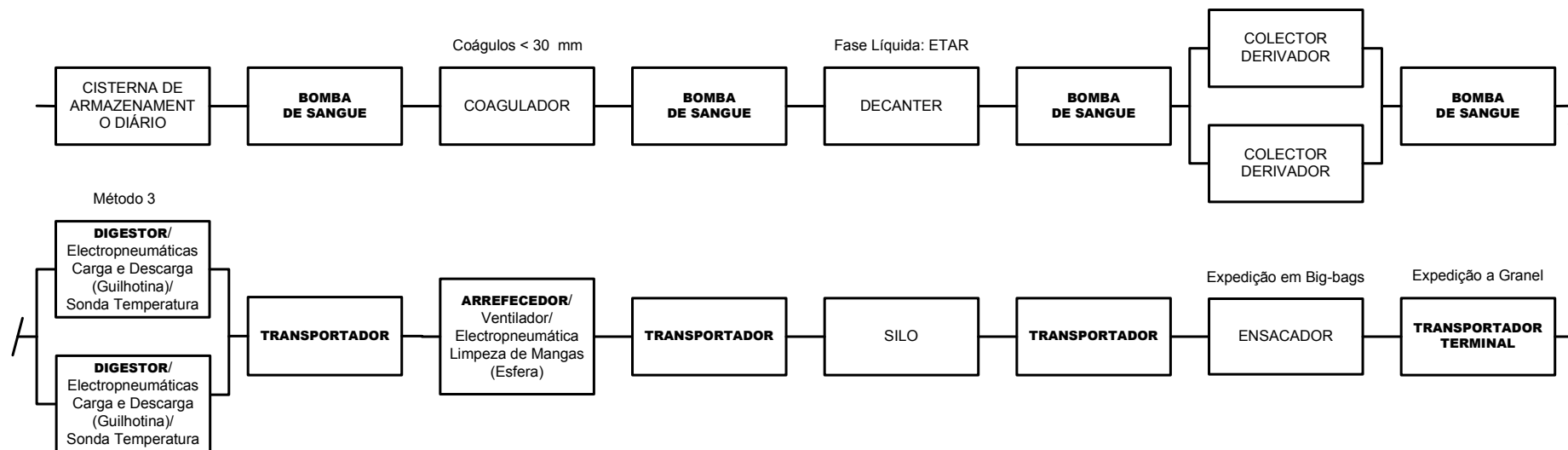
FARINHA DE PENAS M3: PROTEÍNAS ANIMAIS TRANSFORMADAS  
(ANIMAIS DE COMPANHIA)



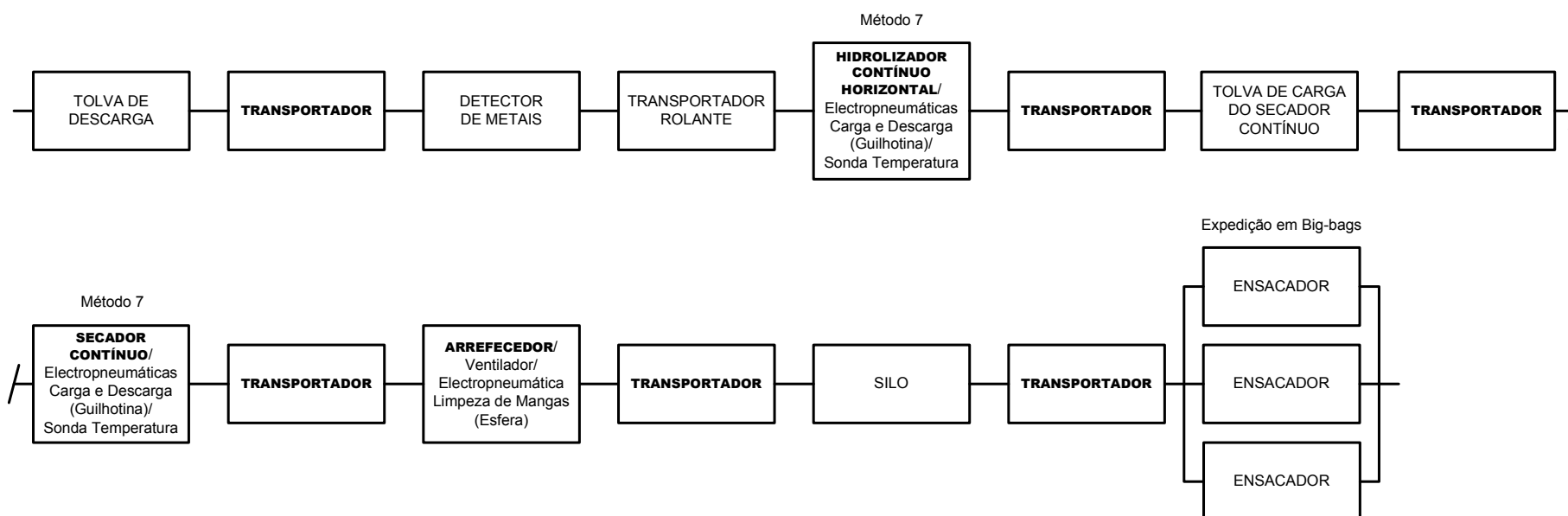
## LINHA 2: (CARNE E OSSOS + GORDURA) M3



### LINHA 3: SANGUE M3

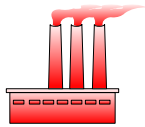


### LINHA 4: PENAS M3



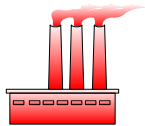
## CENTRAL TÉRMICA

### DIAGRAMAS FUNCIONAIS



PRODUÇÃO DE VAPOR

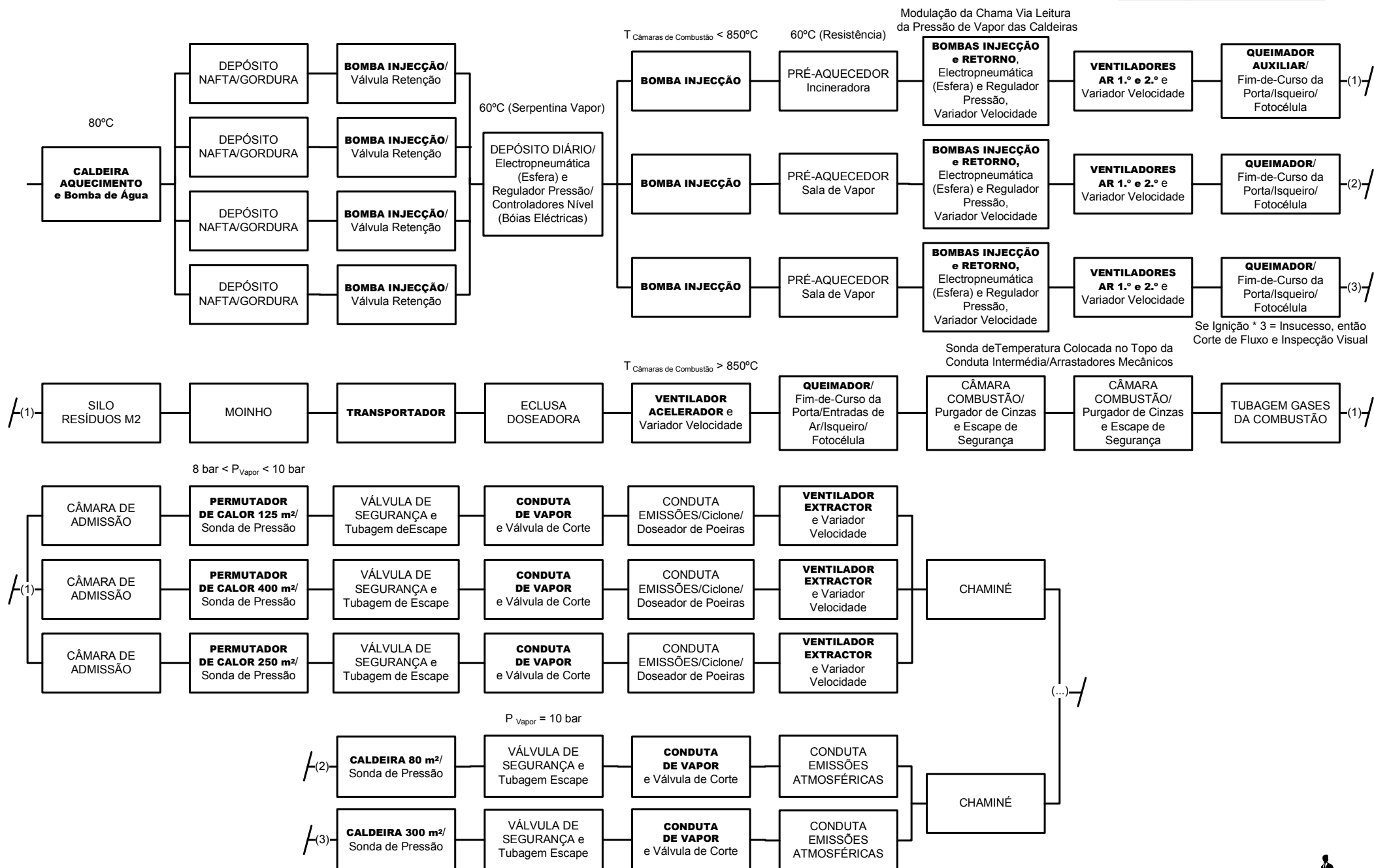
SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE VAPOR

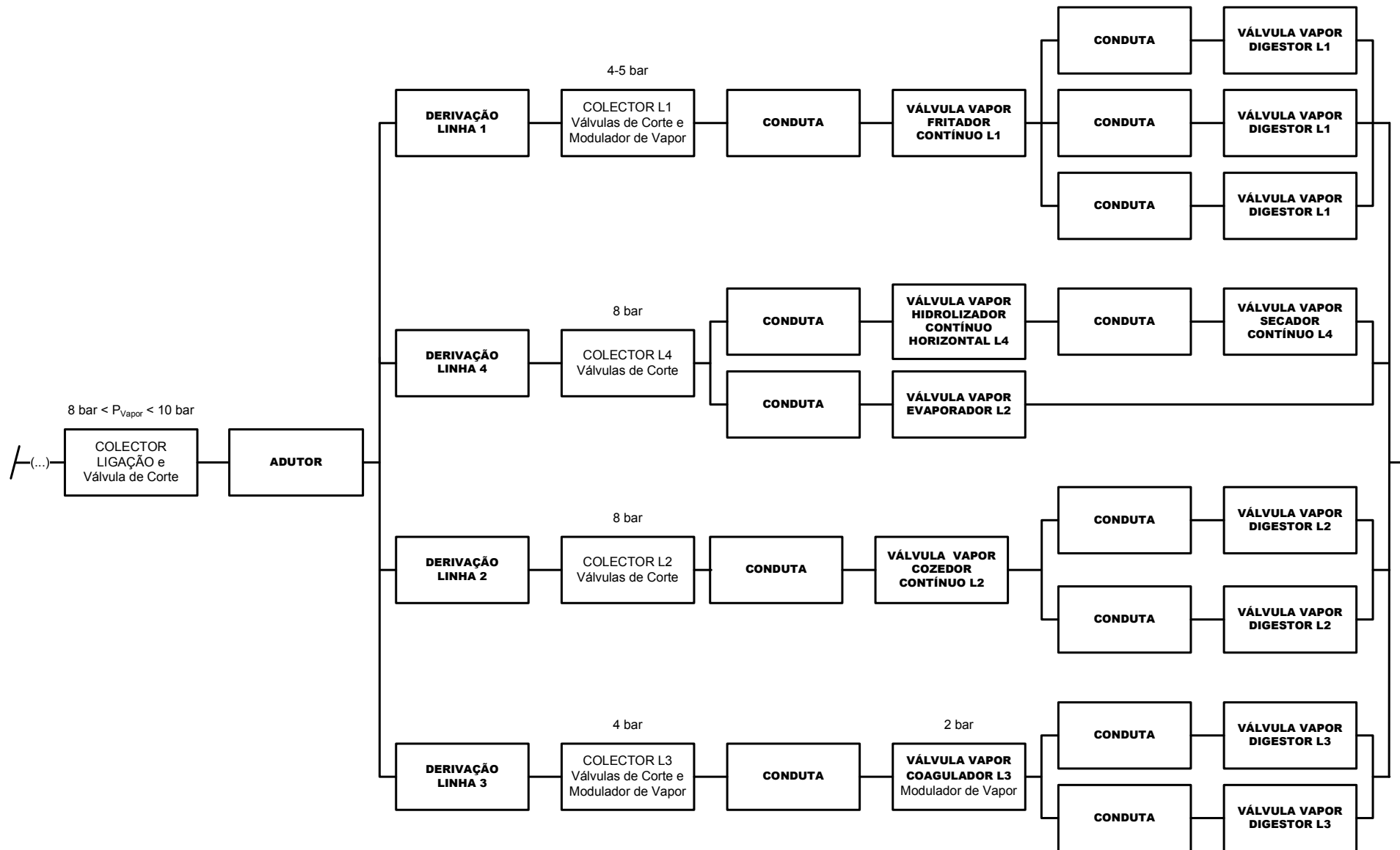


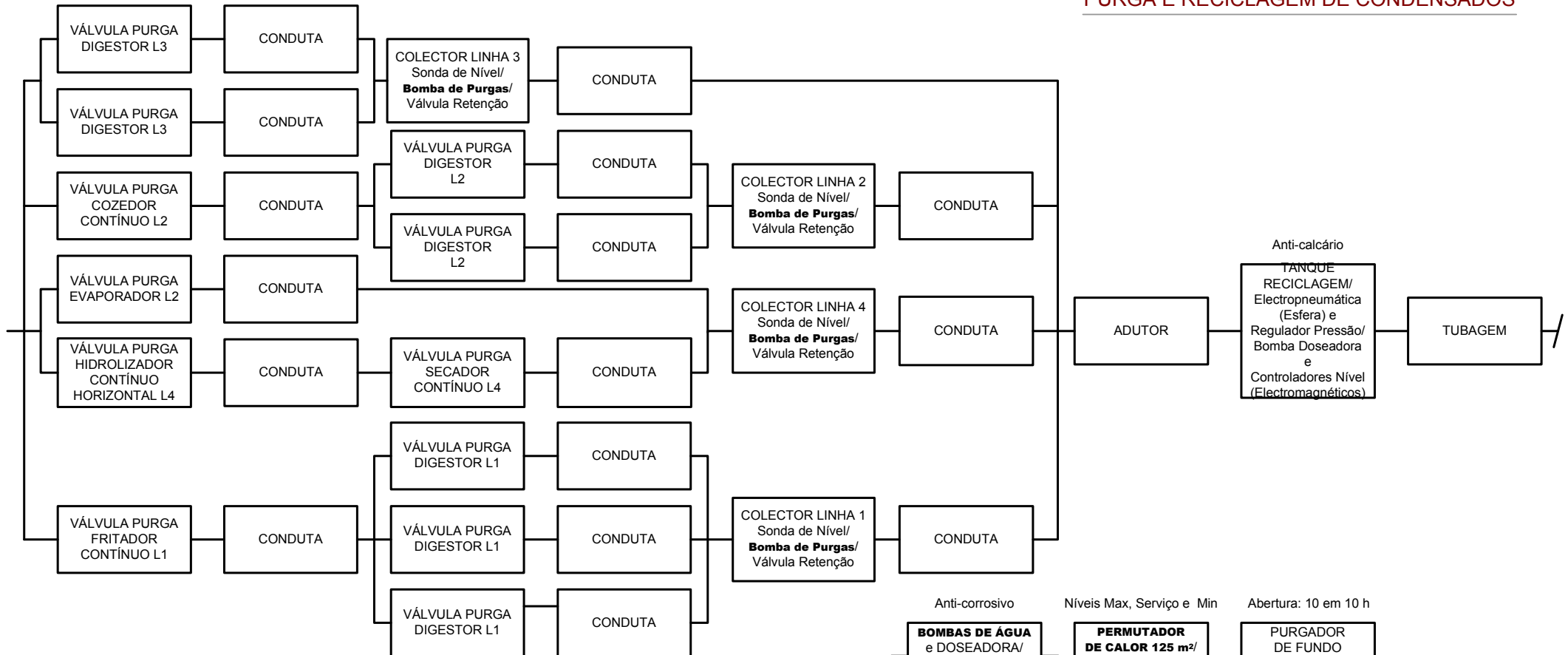
PURGA DE CONDENSADOS

SUBSISTEMA DE PURGA E RECICLAGEM DE CONDENSADOS

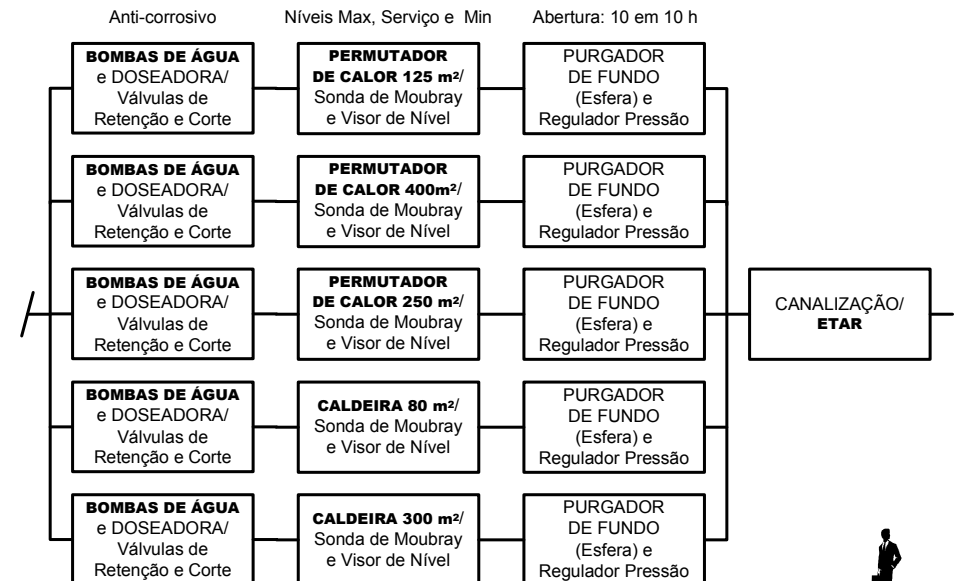
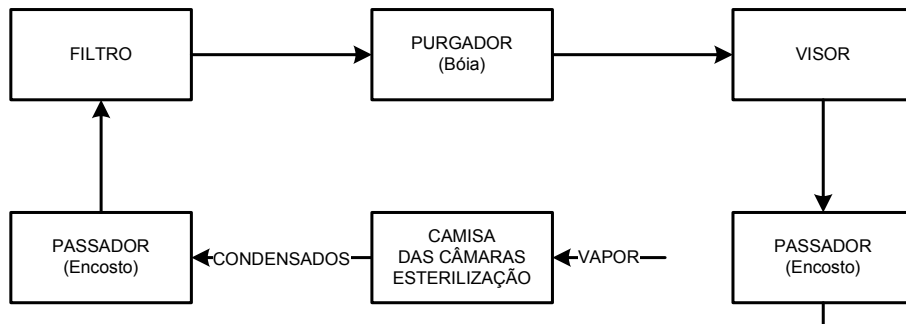
## PRODUÇÃO DE VAPOR







### ZOOM DA VÁLVULA DE PURGA





## SISTEMA DE DEPURAÇÃO DOS VAPORES ORGÂNICOS

### DIAGRAMAS FUNCIONAIS



FONTES INDIVIDUAIS

SUBSISTEMA DAS FONTES INDIVIDUAIS  
(VIA HÚMIDA)



FONTES DIFUSAS

SUBSISTEMA DAS FONTES DIFUSAS  
(VIA HÚMIDA)



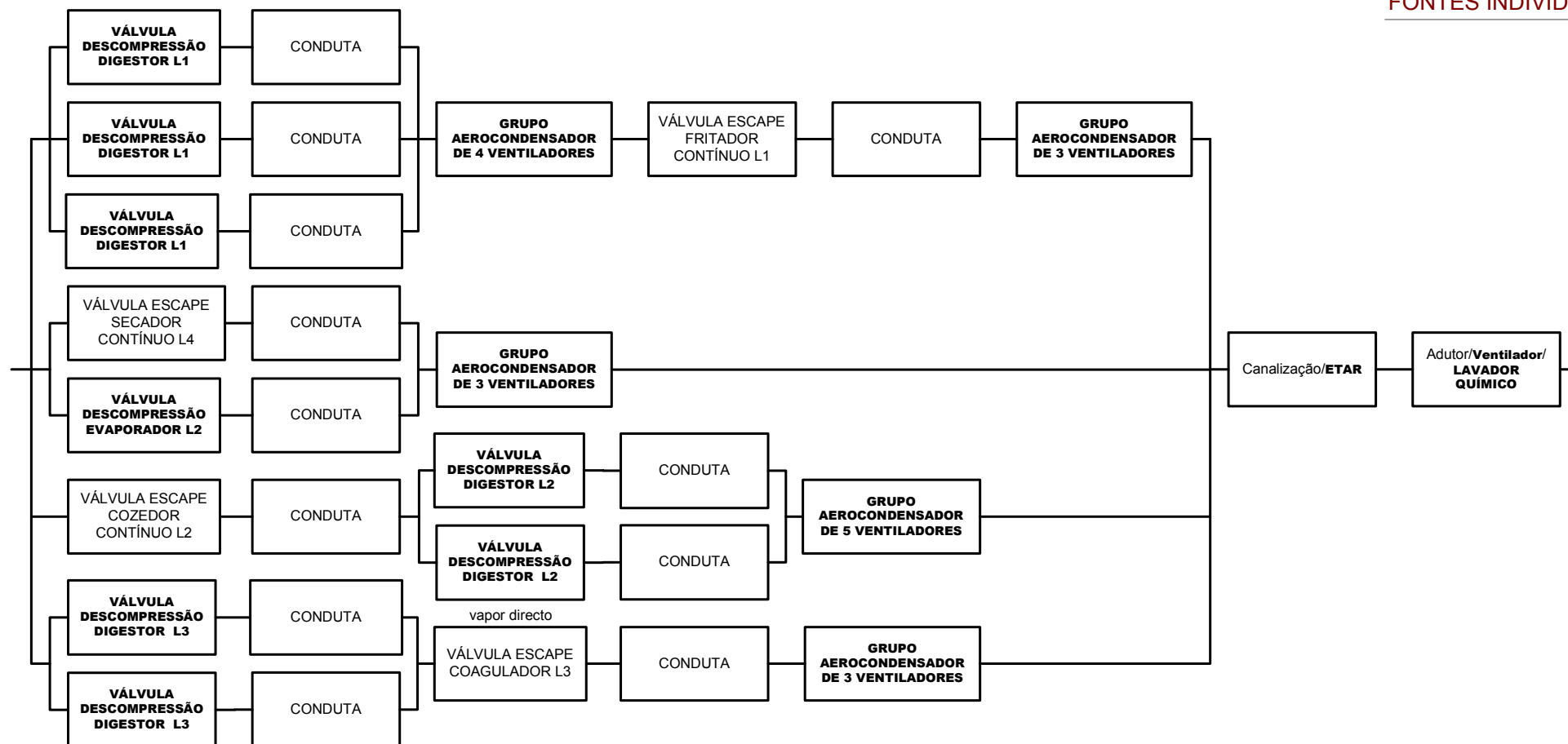
ETAR

ETAR

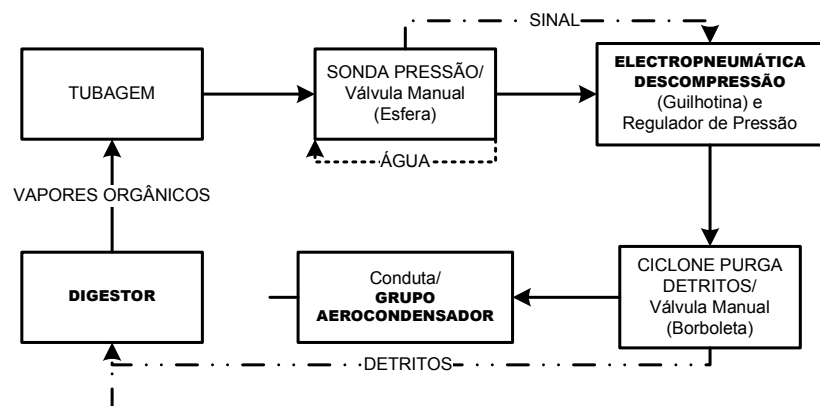


LAVADOR QUÍMICO

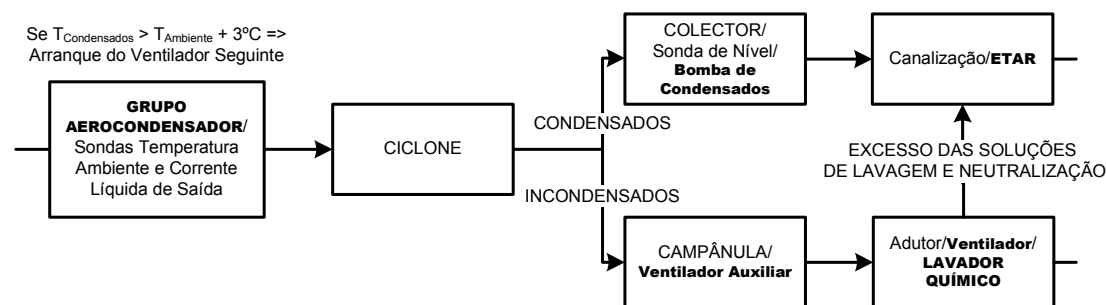
LAVADOR QUÍMICO

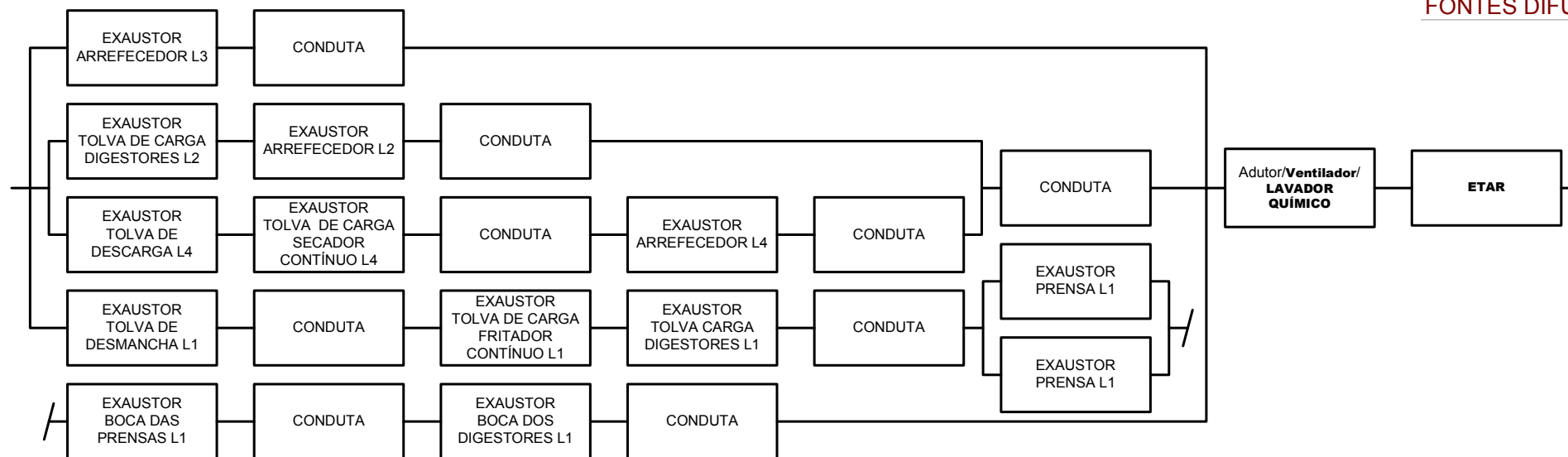


ZOOM DA VÁLVULA ELECTROPNEUMÁTICA DE DESCOMPRESSIONÃO

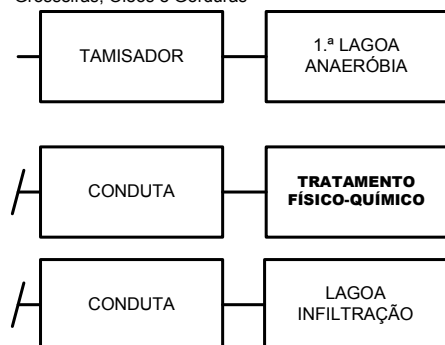


ZOOM DOS GRUPOS AEROCONDENSADORES (TORRES DE ARREFECIMENTO)

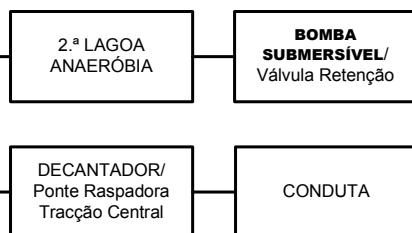




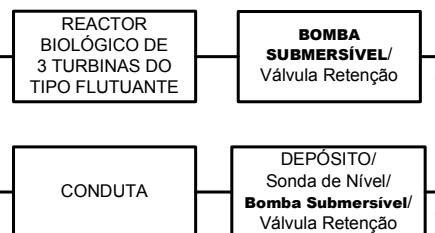
Remoção das Fracções Grosseiras, Óleos e Gorduras



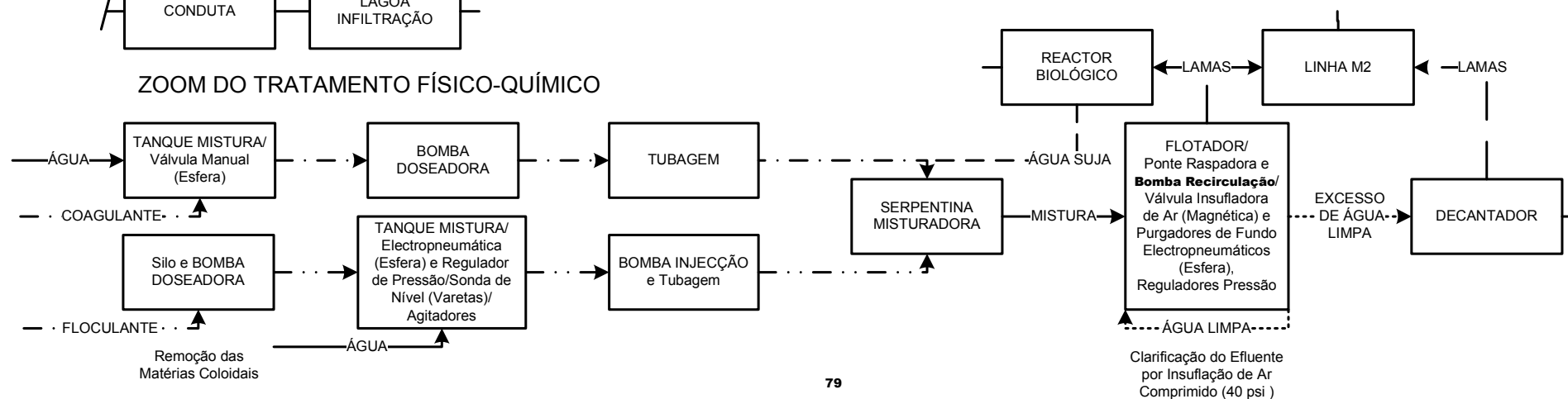
Digestão Anaeróbia



Digestão Aeróbia

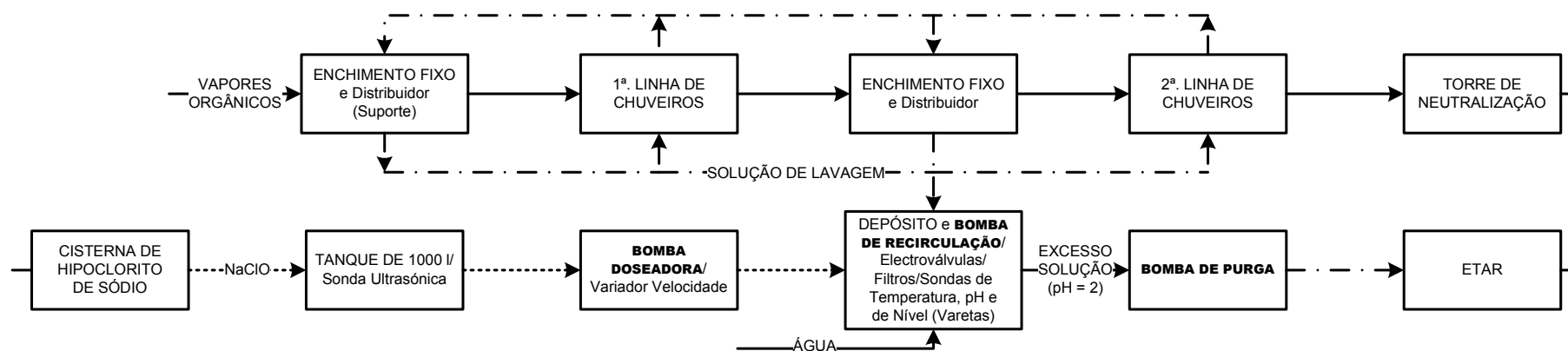


### ZOOM DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

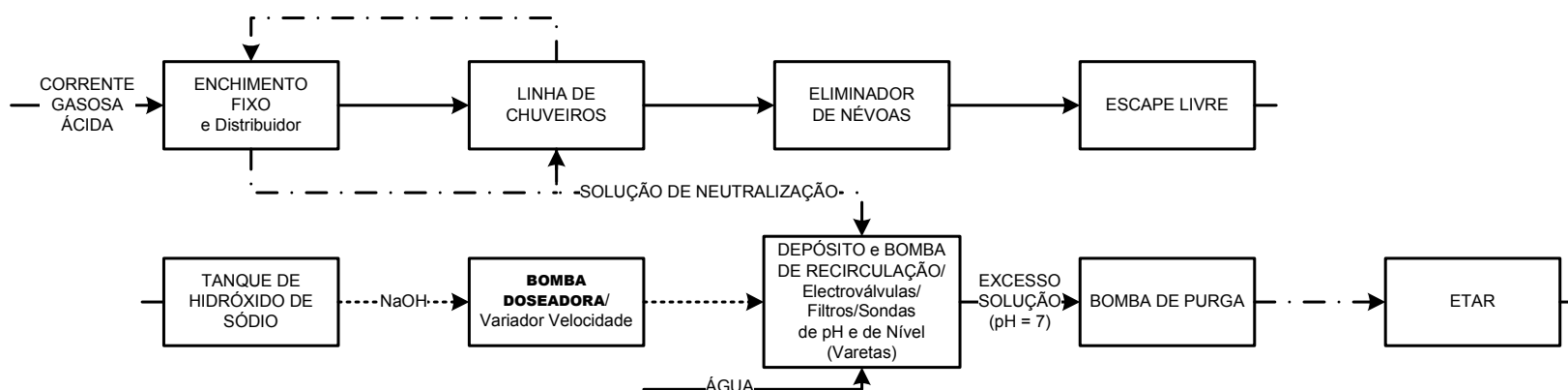




## ZOOM DA TORRE DE LAVAGEM (OXIDAÇÃO QUÍMICA)

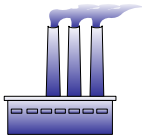


## ZOOM DA TORRE DE NEUTRALIZAÇÃO (ARRASTO DE NÉVOAS)



## SISTEMA DE COMANDO E CONTROLO

DIAGRAMAS  
FUNCIONAIS



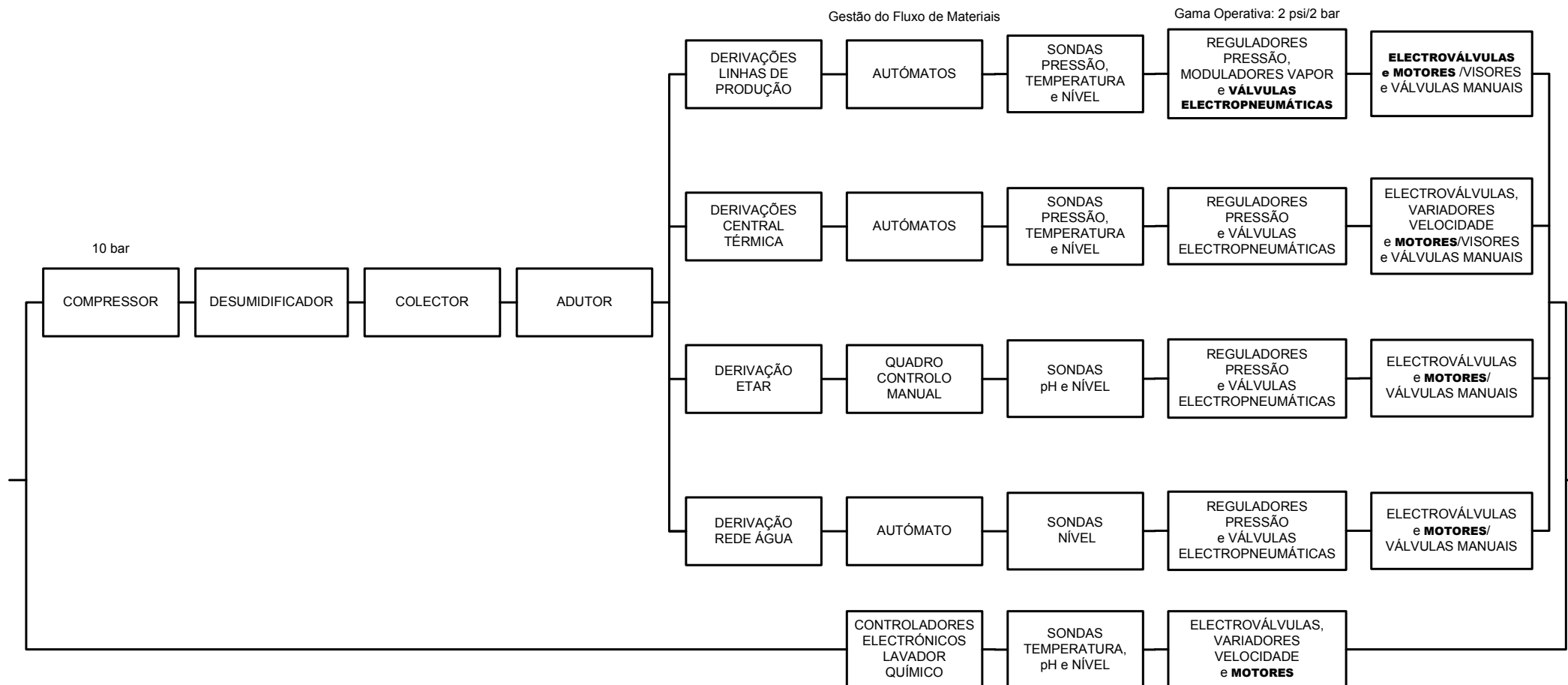
COMANDO E CONTROLO

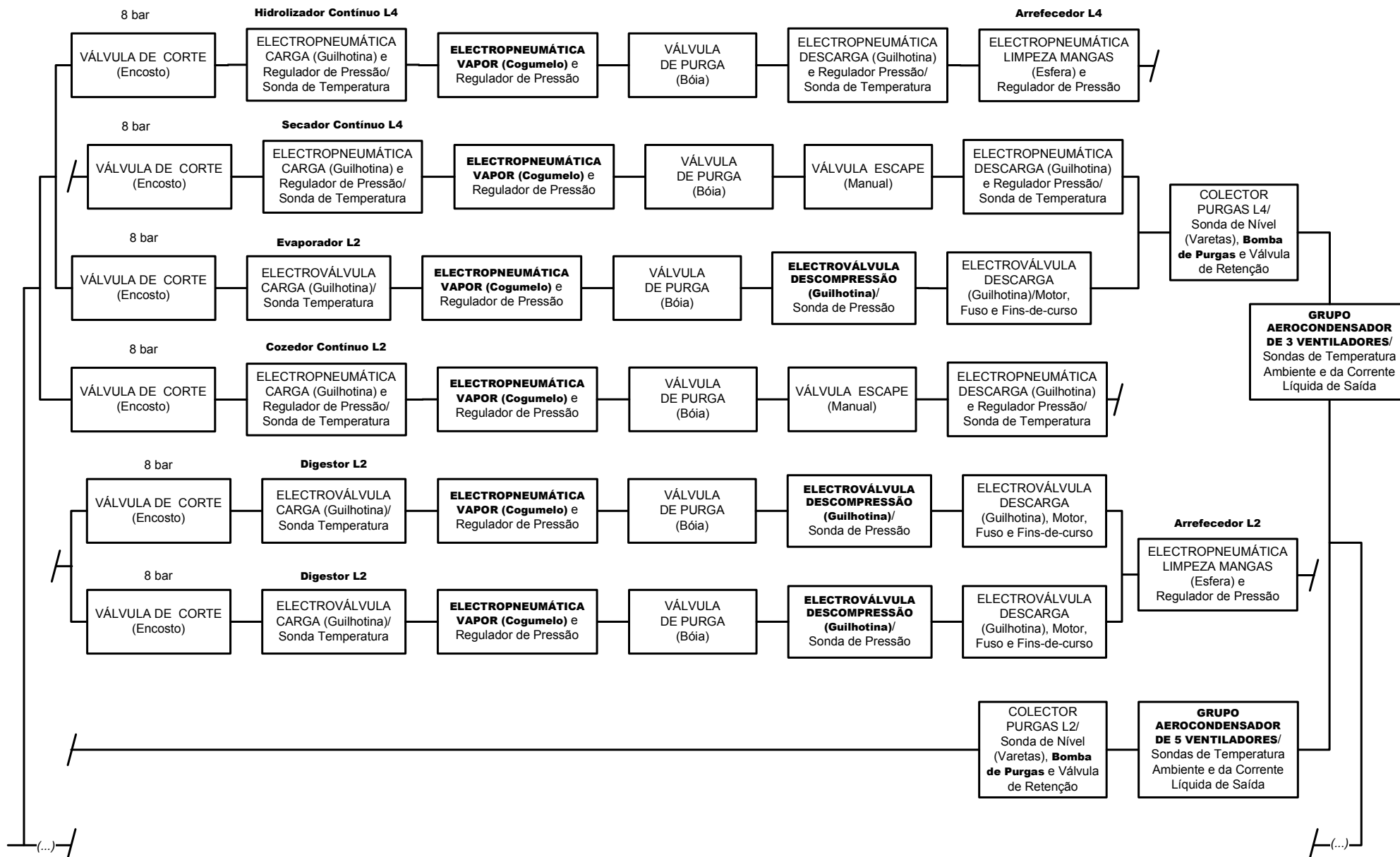
DIAGRAMA GERAL

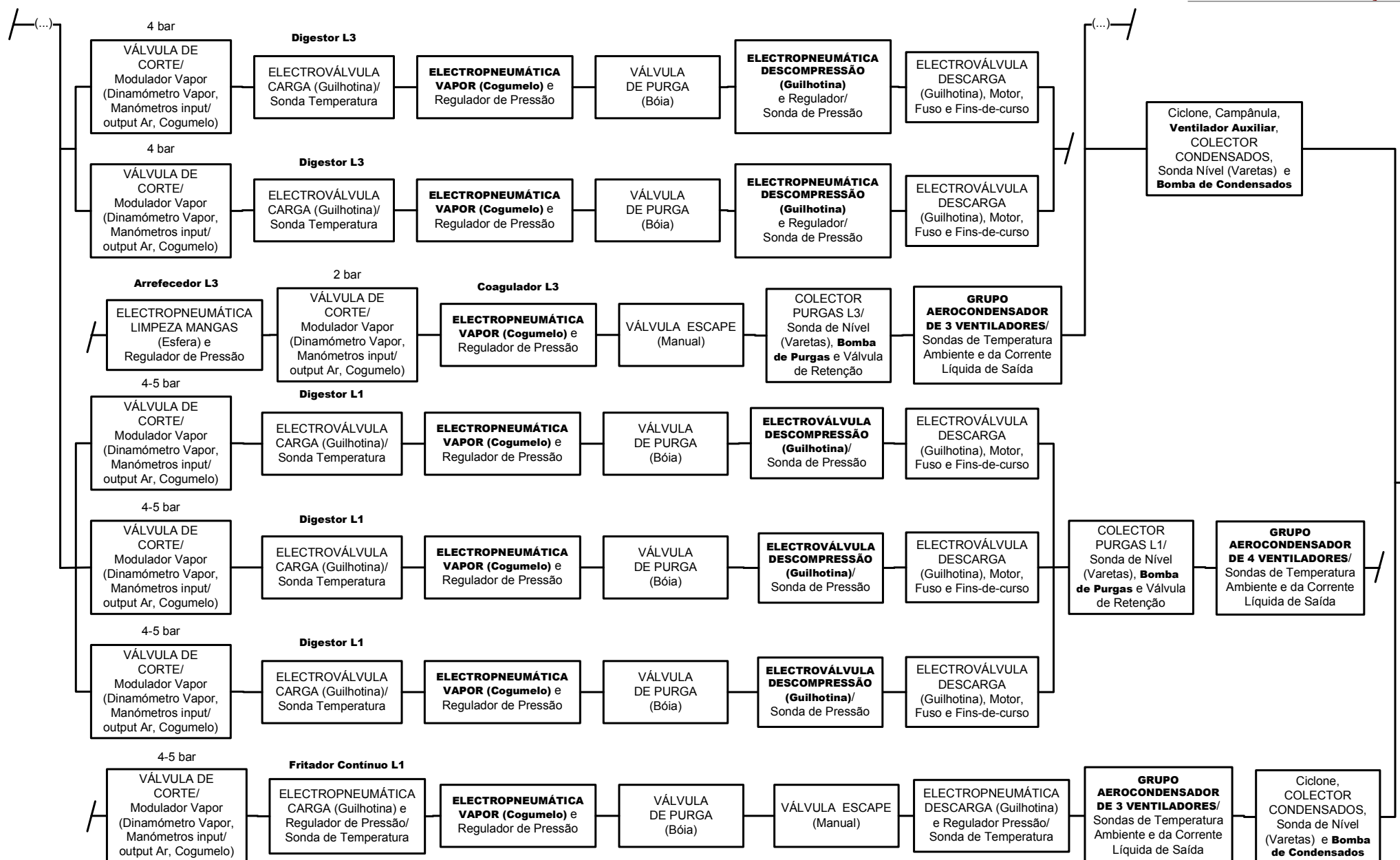


LINHAS DE PRODUÇÃO

SUBSISTEMA DAS LINHAS DE PRODUÇÃO



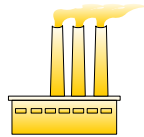






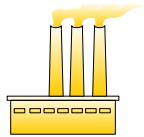
## SISTEMA FABRIL

### DIAGRAMAS FUNCIONAIS



MODELO COMPLETO

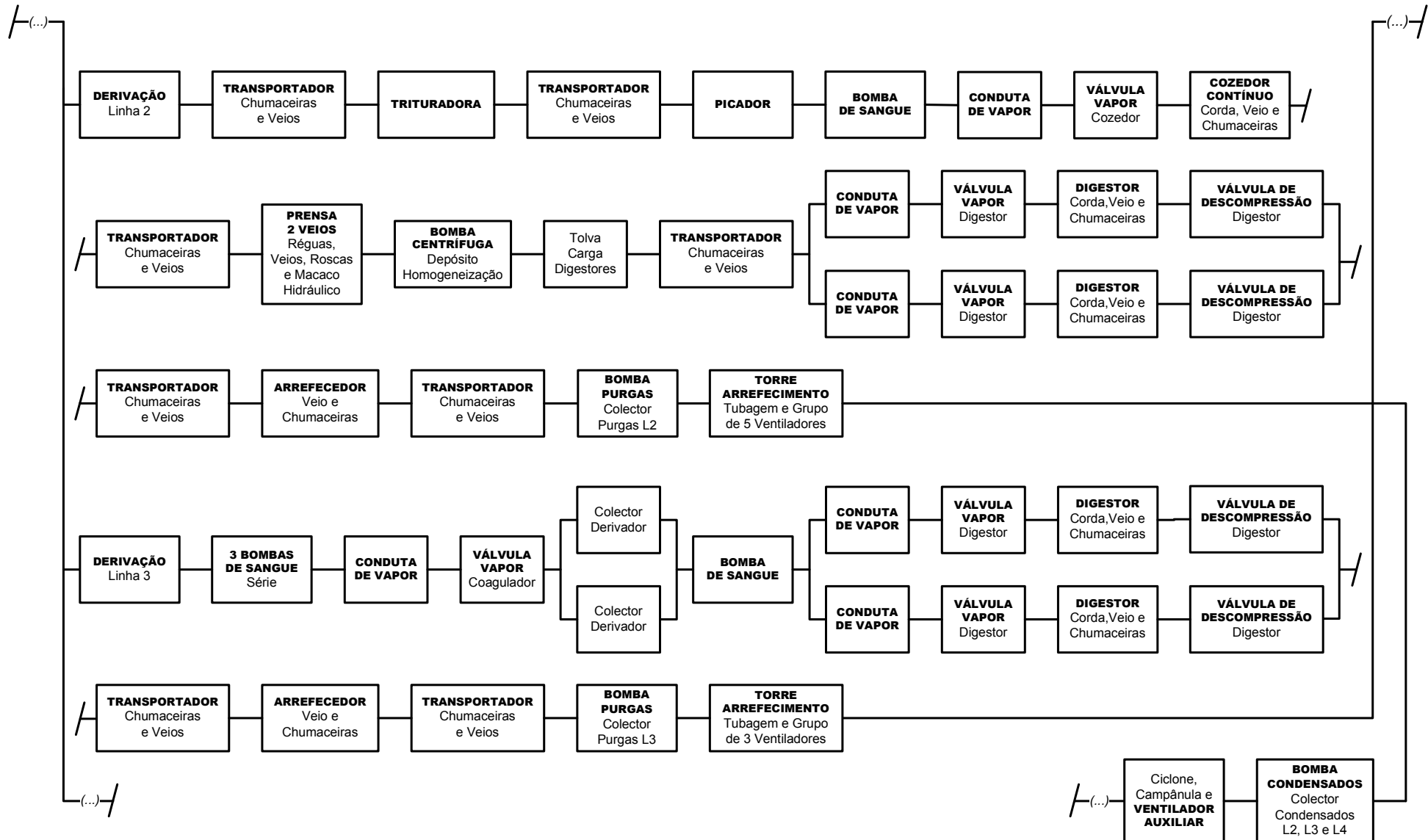
MODELO COMPLETO DE FIABILIDADE

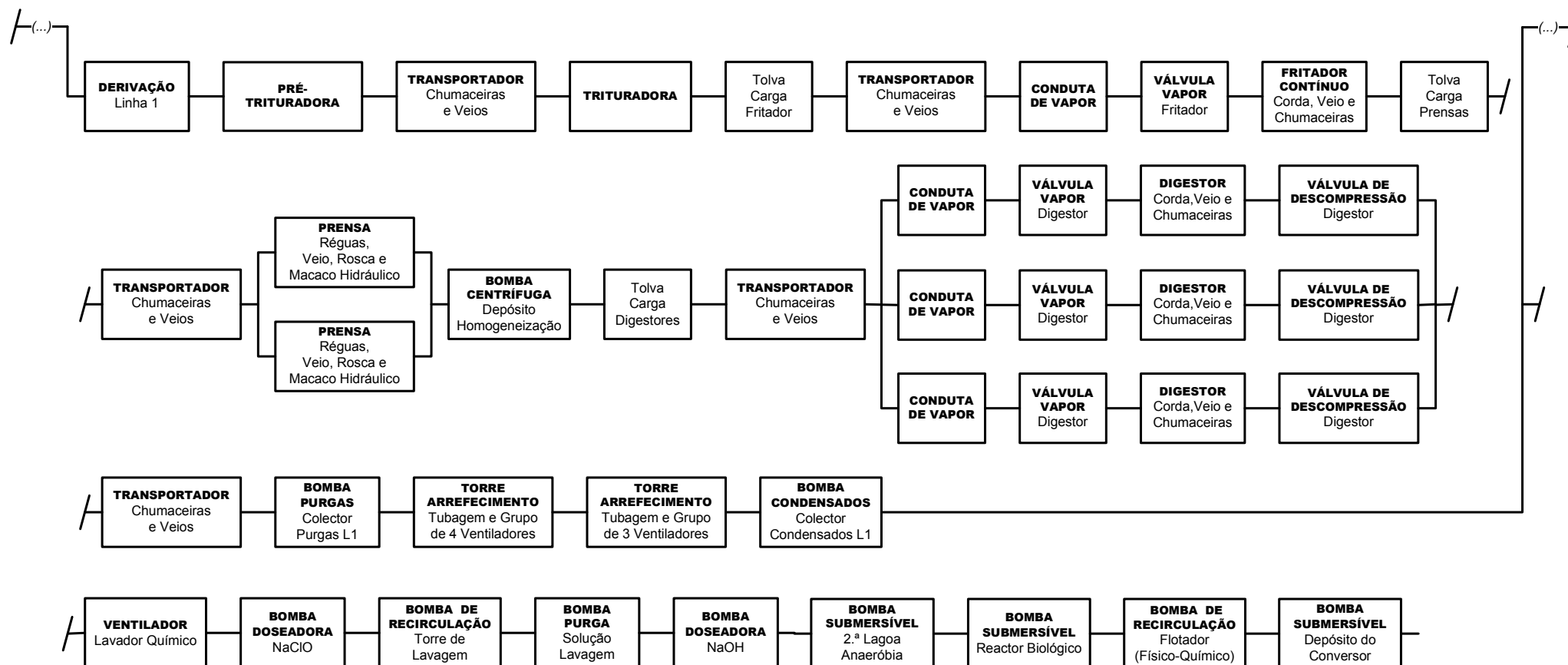


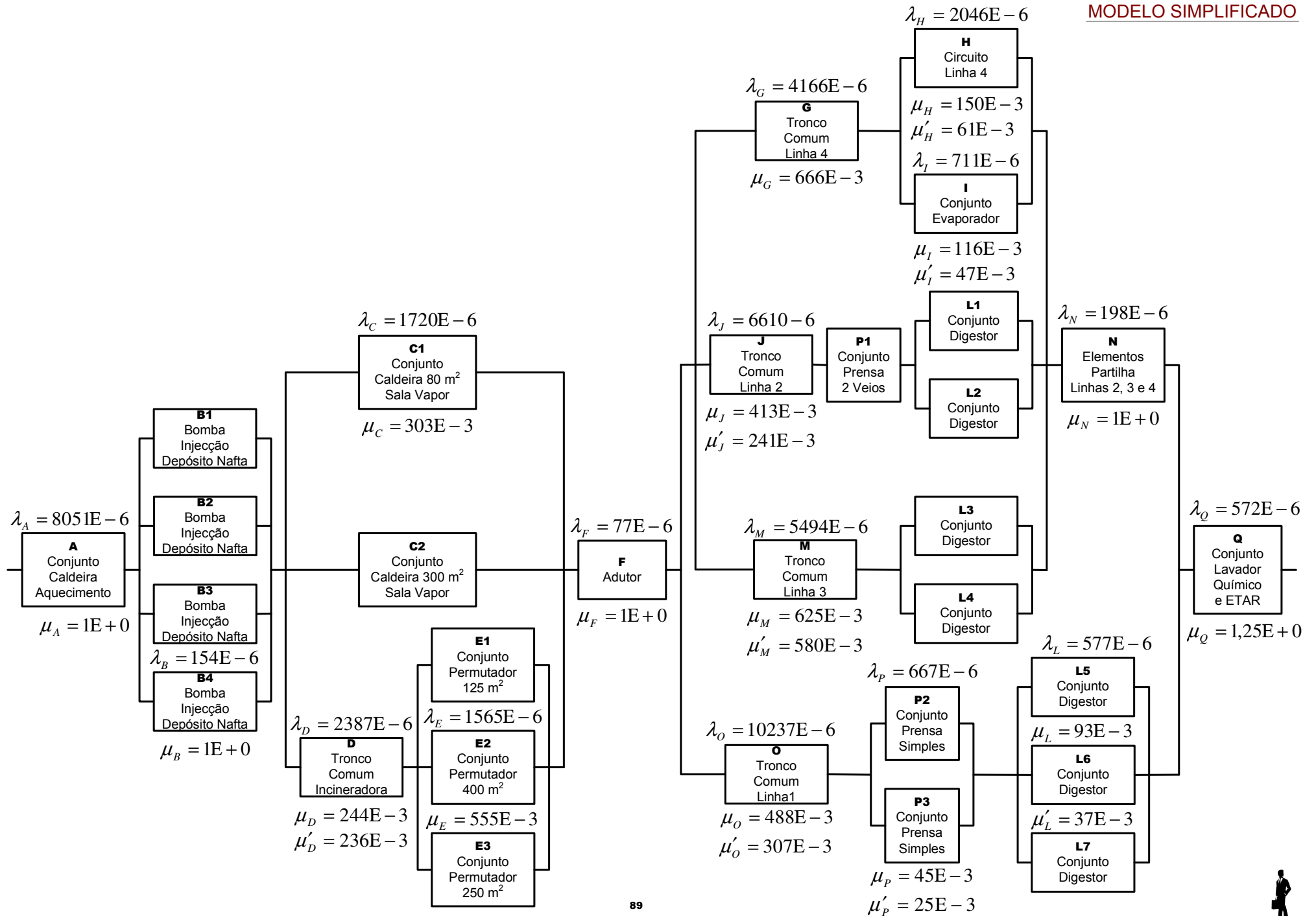
MODELO SIMPLIFICADO

MODELO SIMPLIFICADO DE FIABILIDADE









## Base de Dados de Fiabilidade

## Anexo B – Base de Dados de Fiabilidade

BASE DE DADOS DE FIABILIDADE (FMEA)				
Factores de Risco (Item/Evento)	Parâmetros Básicos de Fiabilidade	Cenários do Ambiente Técnico da Manutenção		
		Pessimista	Realista	Optimista
1. chumaceiras/transportadores:	Time To Failure (TTF)	1,5 meses	<b>12 meses</b>	18 meses
gripagem do rolamento ou	Maintenance Down Time (MDT)	3,5 horas	<b>2 horas</b>	1 hora
relaxamento por fadiga mecânica	Restore Time (RT)	—	—	<b>1 hora</b>
2. veios e roscas/transportadores:	TTF	18 meses	<b>24 meses</b>	36 meses
desgaste acentuado ou rotura/	MDT	3 dias	<b>5 horas</b>	1,5 horas
fractura por fadiga mecânica	RT	4 horas	<b>2 horas</b>	1,5 horas
3. martelos fixos/	Time Between Maintenance (TBM)	60 meses	36 meses	<b>12 meses</b>
família dos trituradores: desgaste	MDT	—	2 dias	4 horas
acentuado e rotura/fractura de martelos	RT	—	—	<b>4 horas</b>
4. corda de empanque grafitada/família	TBM	12 meses	<b>8 meses</b>	6 meses
dos digestores: desgaste acentuado	MDT	4 horas	<b>2 horas</b>	1 hora
ou assimétrico ou, ainda, obstrução	RT	—	—	<b>1 hora</b>
5. chumaceiras/ família dos digestores:	TBM	36 meses	<b>24 meses</b>	12 meses
gripagem do rolamento, obstrução	MDT	3 semanas	<b>6 dias</b>	<b>2 dias</b>
ou relaxamento por fadiga mecânica	RT	10 horas	5 horas	3 horas
6. veios/	Time Between Failures (TBF)	36 meses	<b>48 meses</b>	60 meses
família dos digestores:	MDT	3 semanas	<b>6 dias</b>	2 dias
desalinhamento	RT	—	—	<b>2 dias</b>
7. chumaceiras/arrefecedores:	TTF	24 meses	<b>36 meses</b>	48 meses
gripagem do rolamento, obstrução	MDT	3 horas	1 hora	30 minutos
ou relaxamento por fadiga mecânica	RT	—	<b>1 hora</b>	—
8. veios/	TTF	5 anos	<b>8 anos</b>	10 anos
arrefecedores:	MDT	2 semanas	5 dias	1 dia
desalinhamento	RT	—	—	<b>1 dia</b>
9. réguas de filtragem/	TBM	—	<b>6 meses</b>	—
família das prensas:	MDT	—	1 dia	—
desgaste acentuado	RT	—	<b>1 dia</b>	—
10. veios, roscas e macaco hidráulico/	TBF	6 meses	<b>9 meses</b>	12 meses
família das prensas:	MDT	5 dias	<b>4 dias</b>	36 horas
desgaste acentuado e obstrução	RT	—	—	<b>36 horas</b>
11. batente/	TTF	3 anos	<b>5 anos</b>	7 anos
válvulas de descompressão:	MDT	5 dias	3 dias	1 hora
desgaste acentuado	RT	—	—	<b>1 hora</b>
12. tubagem de arrefecimento/	TTF	5 dias	<b>15 dias</b>	30 dias
torres de arrefecimento (grupos	MDT	4 horas	90 minutos	1 hora
aerocondensadores): entupimento	RT	—	<b>90 minutos</b>	—
13. rolamentos do ventiladores 9500	TTF	2 anos	<b>4 anos</b>	6 anos
rpm/grupos aerocondensadores:	MDT	3 horas	2 horas	90 minutos
corrosão e gripagem	RT	—	<b>2 horas</b>	—
14. correia do ventilador 1500 rpm/	TTF	6 meses	<b>12 meses</b>	24 meses
lavador químico: corrosão, fractura	MDT	24 horas	2 horas	15 minutos
e rotura da borracha	RT	—	—	<b>15 minutos</b>
15. rolamentos/ventiladores e bombas	TBF	2 meses	<b>12 meses</b>	24 meses
centrífugas 2900 rpm:	MDT	—	3 horas	1 hora
gripagem	RT	—	—	<b>1 hora</b>

## Anexo B – Base de Dados de Fiabilidade

BASE DE DADOS DE FIABILIDADE (FMEA)				
Factores de Risco	Parâmetros	Cenários do Ambiente Técnico da Manutenção		
(Item/Evento)	Básicos de Fiabilidade	Pessimista	Realista	Optimista
16. tubagem de permutação de calor/ caldeiras (e permutadores): entupimento	TTF MDT RT	(1 mês) 3 horas —	<b>6 meses (45 dias)</b> 2 horas <b>2 horas</b>	(2 meses) 1 hora —
17. placa e molde refractários do copo do queimador/caldeiras: deterioração do betão refractário	TTF MDT RT	— — —	<b>1 ano</b> 1 dia <b>1 dia</b>	— — —
18. correia do motor do copo do queimador 9000 rpm/caldeiras: desgaste acentuado	TTF MDT RT	3 meses — —	<b>6 meses</b> 15 minutos <b>15 minutos</b>	12 meses — —
19. rolamentos do veio do copo 9000 rpm/caldeiras: gripagem	TTF MDT RT	2 meses — —	<b>6 meses</b> 2 horas <b>2 horas</b>	12 meses — —
20. vedantes e rolamentos das bombas água 2900 rpm/caldeiras: deterioração de vedantes e gripagem de rolamentos	TBF MDT RT	12 meses 1 semana —	<b>18 meses</b> 3 dias —	24 meses 1 hora <b>1 hora</b>
21. juntas de cartão grafitado armado/ condutas de vapor: deterioração	TTF MDT RT	12 meses 2 horas —	<b>24 meses</b> 1 hora <b>1 hora</b>	36 meses 30 minutos —
22. vedante do veio/ válvulas de vapor: deterioração	TTF MDT RT	<b>18 meses</b> — —	24 meses 1 hora <b>1 hora</b>	36 meses — —
23. queimador, filtro de gasóleo e câmara de combustão/caldeira de aquecimento: entupimento	TTF MDT RT	— — —	<b>1 semana</b> 1 hora <b>1 hora</b>	— — —
24. bombas de água 2900 rpm/caldeira aquecimento: gripagem de rolamentos e colapso no momento do arranque	TTF MDT RT	2 anos 1 semana —	<b>3 anos</b> 1 dia —	5 anos 30 minutos <b>30 minutos</b>
25. rolamentos/bombas submersíveis 2900 rpm: gripagem	TBF MDT RT	2 anos 4 horas —	<b>4 anos</b> 3 horas —	6 anos 1 hora <b>1 hora</b>
26. bobines/bombas submersíveis 2900 rpm: curto-circuito	TBF MDT RT	3,5 anos 5 dias —	<b>5,5 anos</b> 4 dias —	7,5 anos 1 hora <b>1 hora</b>
27. rolamentos/ bombas de purgas 2900 rpm: gripagem	TBF MDT RT	1 ano 4 horas —	<b>3 anos</b> 3 horas —	5 anos 1 hora <b>1 hora</b>
28. vedantes e rolamentos/bombas de condensados e recirculação 2900 rpm: corrosão e gripagem	TBF MDT RT	1,5 anos 4 horas —	<b>3,5 anos</b> 2 horas —	5,5 anos 1 hora <b>1 hora</b>
29. estátor e rotor/ bombas de sangue: fissura do estátor	TTF MDT RT	6 meses 3 horas —	<b>12 meses</b> 2 horas <b>2 horas</b>	36 meses 90 minutos —



## FMECA e Lista de Controlos

ANÁLISE MODAL DE FALHAS E SEUS EFEITOS (I. FAILURE MODES, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS, FMECA)

Índice por Componentes/Equipamentos Críticos

- |  |   |
|--|---|
| 1. Chumaceiras (inclui Rolamentos)/Transportadores         | 17. Placa e Molde Refractários do Copo do Queimador/Caldeiras |
| 2. Veios Maciços e Roscas de Aço/Transportadores           | 18. Correia do Motor do Copo 9000 rpm/Caldeiras               |
| 3. Martelos Fixos/Família dos Trituradores                 | 19. Rolamentos do Veio do Copo 9000 rpm/Caldeiras             |
| 4. Corda de Empanque Grafitada/Família dos Digestores      | 20. Vedantes e Rolamentos das Bombas de Água/Caldeiras        |
| 5. Chumaceiras (inclui Rolamentos)/Família dos Digestores  | 21. Juntas de Cartão Grafitado/Conduitas de Vapor             |
| 6. Veios Ocos/Família dos Digestores                       | 22. Vedante do Veio/Válvulas de Vapor                         |
| 7. Chumaceiras (inclui Rolamentos)/Arrefecedores           | 23. Queimador, Filtro e Fornalha/Caldeira de Aquecimento      |
| 8. Veios Maciços/Arrefecedores                             | 24. Bombas de Água/Caldeira de Aquecimento                    |
| 9. Réguas de Filtragem/Família das Prensas                 | 25. Rolamentos/Bombas Submersíveis 2900 rpm                   |
| 10. Veios, Roscas e Macaco Hidráulico/Família das Prensas  | 26. Bobines/Bombas Submersíveis 2900 rpm                      |
| 11. Anel em Bronze do Batente/Válvulas de Descompressão    | 27. Rolamentos/Bombas de Purgas 2900 rpm                      |
| 12. Tubagem de Arrefecimento/Torres de Arrefecimento       | 28. Vedantes e Rolamentos/Bombas de Condensados 2900 rpm      |
| 13. Rolamentos dos Ventiladores 9500 rpm/Aerocondensadores | 29. Estátor e Rótor/Bombas de Sangue                          |
| 14. Correia do Ventilador 1500 rpm/Lavador Químico         | ➤ Radiografia Actual da Fiabilidade e Manutenibilidade Fabris |
| 15. Rolamentos/Ventiladores e Bombas Centrífugas 2900 rpm  | ➤ Lista de Controlos (I. Watchlist)                           |
| 16. Tubagem de Permutação de Calor/Caldeiras               | ➤ Registo de Controlos  |

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 1

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1, 2, 3 e 4

Equipamento: Transportadores

Data de Preparação: 07.06.26

Data de Revisão: 07.09.19

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>chumaceiras:</u> apoio dos elementos rotativos	gripagem do rolamento ou relaxamento por fadiga mecânica	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve ou intermédio <= desalinhamento!): manutenibilidade razoável!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	perda das características lubrificantes ou distribuição não uniforme da carga (ex. sem-fins aéreos), sobrecarga cíclica (ex. casca de ovo) e desalinhamento do veio	4	monitorização do ruído associado ao esforço do grupo moto-redutor e vibração do rolamento da chumaceira e/ou observação de situações de descaimento do veio e salto da corrente	3	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> evitar ao máximo o retardamento das intervenções, manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 2

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1, 2, 3 e 4

Equipamento: Transportadores

Data de Preparação: 07.06.27

Data de Revisão: 07.09.19

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>veios</u> <u>(maciços)</u> <u>e roscas</u> <u>(de aço):</u> transporte de subprodutos e farinha ao longo das zonas suja e limpa, respectivamente	desgaste acentuado de veios e roscas ou rotura/fractura de veios por fadiga mecânica	intervenção correctiva não planeada (ex. emenda ou corte e substituição de emergência) ou planeada (ex. construção à medida e escolha da oportunidade de substituição)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	cargas elevadas e exposição a sucros e vapores orgânicos muito corrosivos e altas temperaturas (ex. zona suja e boca dos digestores) ou distribuição não uniforme da carga (ex. sem-fins aéreos) e sobrecarga cíclica (ex. casca de ovo)	3	inspecção visual periódica da espessura e resistência dos materiais	4	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> alargar o <i>stock</i> de peças de substituição a todas as famílias de comprimento (4, 5 e 6 m) a fim de evitar as operações de emergência de corte e soldadura e instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da condição dos materiais

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 3

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1 e 2

Equipamento: Família dos Trituradores (e Picadores)

Data de Preparação: 07.06.28

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>martelos fixos:</u> redução da dimensão das partículas das diferentes matérias até ao limite legal fixado para cada método de transformação	desgaste acentuado e rotura/fractura de martelos	intervenção preventiva condicionada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: afinação da profundidade dos martelos e enchimentos de soldadura)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	8	cargas elevadas (i.e. a taxa de ocupação) e exposição a sucos e vapores orgânicos altamente corrosivos ou cargas excessivas (i.e. material de alta dureza)	4	inspecção visual periódica da afinação e estado de degradação do material	3	96	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de inspecção visual da condição do material

# Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 4

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1, 2, 3 e 4

Equipamento: Família dos Digestores, Fritadores, Cozedores, Hidrolizadores, Secadores e Evaporadores (Tratamentos de "Via Húmida")

Data de Preparação: 07.06.29

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>corda de empanque grafitada:</u> vedação dos apoios axiais anterior e posterior	desgaste acentuado ou assimétrico ou, ainda, obstrução	intervenção correctiva não planeada (ex. preenchimento de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: substituição integral ou preenchimento de faltas)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo (regra geral)	perda económica associada à indisponibilidade da linha (ou digestor: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril	6	atrito e exposição a sucos e vapores orgânicos muito corrosivos e altas temperaturas ou desalinhamento do veio ou, ainda, solidificação do material	4	inspecção visual periódica da condição do aperto	2	48	<u>classe de risco tolerável:</u> incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina diária</u> dos operadores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 5

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1, 2, 3 e 4

Equipamento: Família dos Digestores, Fritadores, Cozedores, Hidrolizadores, Secadores e Evaporadores (Tratamentos de "Via Húmida")

Data de Preparação: 07.07.02

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>chumaceiras:</u> apoio dos elementos rotativos	gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica	política de adiamento da intervenção (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: intermédio ou profundo <= desalinhamento do veio!): manutenibilidade reduzida!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo (regra geral)	perda económica associada à indisponibilidade da linha (ou digestor: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril	6	perda das características lubrificantes, solidificação do material ou sobrecarga cíclica (ex. casca de ovo) e desalinhamento do veio	3	monitorização do ruído associado ao esforço do grupo moto-redutor e vibração do rolamento da chumaceira e/ou observação de situações de descaimento do veio e salto da corrente	5	90	<u>classe de risco inaceitável:</u> evitar ao máximo que as causas potenciais de falha conduzam aos modos de falha mais gravosos, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 6

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1, 2, 3 e 4

Equipamento: Família dos Digestores, Fritadores, Cozedores, Hidrolizadores, Secadores e Evaporadores (Tratamentos de "Via Húmida")

Data de Preparação: 07.07.03

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>veios (ocos):</u> uniformização do tratamento térmico ao bolo digestivo no seio das câmaras de esterilização	desalinamento	política de adiamento da intervenção (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: profundo <= cascata de impedimentos!): reparabilidade baixa!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo (regra geral)	perda económica associada à indisponibilidade da linha (ou digestor: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril	6	gripagem do rolamento (i.e. alteração momentânea e cíclica da velocidade de rotação e da distribuição da carga)	3	inspecção visual periódica da condição do aperto e ponteira (i.e. desgaste assimétrico)	5	90	<u>classe de risco inaceitável:</u> evitar ao máximo que a causa potencial de falha conduza ao modo de falha mais gravoso, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina</u> <u>semanal</u> dos operadores



Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 7

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 2, 3 e 4

Equipamento: Arrefecedor (Tratamento de "Via Seca")

Data de Preparação: 07.07.03

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>chumaceiras:</u> apoio dos elementos rotativos	gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve ou intermédio <= desalinhamento!): manutenibilidade razoável!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	5	perda das características lubrificantes, solidificação do material ou sobrecarga cíclica (ex. casca de ovo) e desalinhamento do veio	3	monitorização do ruído associado ao esforço do grupo moto-redutor e vibração do rolamento da chumaceira e/ou observação de situações de descaimento do veio e salto da correia	3	45	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervensões; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão

# Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 8

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 2, 3 e 4

Equipamento: Arrefecedor (Tratamento de "Via Seca")

Data de Preparação: 07.07.03

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>veios</u> (maciços): uniformização da ventilação da massa de farinha no seio da câmara de arrefecimento	desalinhamento	política de adiamento da intervenção (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: intermédio <= cascata de impedimentos!): reparabilidade moderada!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	gripagem do rolamento (i.e. alteração momentânea e cíclica da velocidade de rotação e da distribuição da carga)	2	inspecção visual periódica da condição da ponteira (i.e. desgaste assimétrico)	5	60	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de substituição <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina</u> <u>semanal</u> dos operadores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 9

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1 e 2

Equipamento: Família das Prensas (Simples e de Dois Veios)

Data de Preparação: 07.07.04

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>réguas de filtragem:</u> compressão das massas de farinha e filtragem da gordura animal	desgaste acentuado	intervenção preventiva sistemática (ex. abertura e substituição semestral)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha parcial da linha 2 ou do paralelo de prensas da linha 1	perda económica associada à indisponibilidade do circuito de produção de gordura (ou prensa simples: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	atrito e exposição a sucos e vapores orgânicos altamente corrosivos e temperaturas elevadas	4	abertura e inspecção visual periódica da condição dos componentes	2	48	<u>classe de risco tolerável:</u> instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da condição do material, manter a estratégia de encomenda das peças de substituição <i>just-in-time</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 10

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linhas 1 e 2

Equipamento: Família das Prensas (Simples e de Dois Veios)

Data de Preparação: 07.07.05

Data de Revisão: 07.09.20

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>veios (maciços) e roscas (de aço):</u> compressão das massas de farinha através do influxo contínuo de matérias + <u>macaco hidráulico:</u> regulação da intensidade do aperto ou rendimento do processo de prensagem	desgaste acentuado e obstrução	intervenção preventiva condicionada (ex. abertura periódica e avaliação da oportunidade de substituição em conjunto e da extensão e profundidade dos enchimentos de soldadura)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha parcial da linha 2 ou do paralelo de prensas da linha 1	perda económica associada à indisponibilidade do circuito de produção de gordura (ou prensa simples: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	atrito, exposição a sucos e vapores orgânicos altamente corrosivos e temperaturas elevadas e solidificação de detritos	4	abertura e inspecção visual periódica da condição dos componentes e da relação entre o curso do macaco e o rendimento do processo	2	48	<u>classe de risco tolerável:</u> instituir um procedimento documentado de controlos <u>trimestrais</u> intermédios da condição do material; conjugar a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de sobresselentes <i>just-in-case</i> e incluir os cuidados gerais de limpeza (i.e. um ciclo em vazio) no final do <u>turno vespertino</u>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 11

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais (Linhas 1, 2 e 3)

Equipamento: Válvulas de Descompressão (Digestores e Evaporadores)

Data de Preparação: 07.07.07

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>batente:</u> encosto e vedação no movimento descendente da guilhotina	desgaste acentuado do anel em bronze ou aço inox	intervenção correctiva não planeada (ex. encomenda, espera e/ou substituição de emergência) ou planeada (ex. encomenda e/ou escolha da oportunidade de substituição)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha parcial da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade do circuito (evaporador) ou equipamento (digestor: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril	6	exposição a sucos e vapores orgânicos altamente corrosivos e a temperaturas e pressões de serviço elevadas	3	indicação de percentagens negativas de abertura das válvulas nos painéis de controlo dos autómatos	3	54	<u>classe de risco tolerável:</u> manter a estratégia de encomenda da peça de substituição <i>just-in-time</i> , ou seja, requisitar a ordem de compra ao primeiro sinal de fuga de vapor, e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semanal</u> da abertura das válvulas

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 12

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: Torres de Arrefecimento (Grupos Aerocondensadores)

Data de Preparação: 07.07.08

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>tubagem de arrefecimento:</u> condensação dos vapores orgânicos (i.e. transferência de massa dos contaminantes para a ETAR)	entupimento	intervenção correctiva não planeada (ex. desobstrução de emergência) ou preventiva sistemática (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve <= lavagem e aperto <u>quinzenal</u> das juntas dilatadas)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	7	operação de carga das máquinas sob tensão psicológica (i.e. saturação das câmaras de esterilização) motivada por um desfaseamento entre procura (carga) e capacidade, i.e. um tempo de ciclo superior à cadência dos clientes (tempo de <i>takt</i> )	6	acerto visual do nível de enchimento das máquinas e observação de comportamentos atípicos das fases de hidrólise (i.e. oscilações súbitas e ligeiras) e descompressão (i.e. decaimento lento) nos painéis de controlo dos autómatos	4	168	<u>classe de risco inaceitável:</u> ( <i>stress</i> excessivo e inaceitável) combinar qualidade, custo e entrega (i.e. capacidade operacional instalada e disponível em cada momento) e facilitar os meios técnicos e humanos adequados ao nível de desempenho esperado das funções produção e manutenção, e instituir um procedimento <u>quinzenal</u> documentado de cuidados gerais de limpeza

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 13

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: Grupos Aerocondensadores (Torres de Arrefecimento)

Data de Preparação: 07.07.08

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>rolamento do motor do ventilador 9500 rpm:</u> refrigeração da massa de ar circundante da tubagem de arrefecimento	corrosão e gripagem	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve ou intermédio <= retardamento, repartição de carga e risco de emissão de odores!)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	7	exposição a vapores orgânicos altamente corrosivos e temperaturas elevadas e perda das características lubrificantes	3	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração do rolamento ou observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	63	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 14

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais e Difusas (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: Lavador Químico

Data de Preparação: 07.07.09

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>correia do ventilador</u> <u>1500 rpm:</u> aspiração, refrigeração e circulação da corrente gasosa de vapores orgânicos	corrosão, fractura e rotura da borracha	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade de substituição): <i>stock</i> de peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade dos circuitos de exaustão quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total do sistema de depuração	perda ambiental associada à indisponibilidade do sistema de depuração e falha total e acessória do sistema fabril como um todo	7	exposição a vapores orgânicos muito corrosivos e temperaturas altas (i.e. perda de elasticidade)	4	monitorização da tensão e estado de degradação ou observação de situações de salto da correia	4	112	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de monitorização da tensão e estado de degradação da correia e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>



# Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 15

Sistema: Central Térmica, Depuração dos Vapores Orgânicos e Linhas de Produção

Data de Preparação: 07.07.09

Subsistema: Produção de Vapor, Fontes Individuais (Linhas 2, 3 e 4) e Linhas 1 e 2

Data de Revisão: 07.09.21

Equipamentos: Ventiladores Extractores, Aceleradores, Auxiliar e de Ar 1.º e 2.º e Bombas Centrífugas, de Injecção e Retorno 2900 rpm

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>motor eléctrico</u> <u>2900 rpm:</u> accionamento das turbinas	gripagem do rolamento	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve): <i>stock</i> de sobresselentes e peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da caldeira quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira ou permutador de calor e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	exposição a poeiras ou vapores orgânicos altamente corrosivos e/ou temperaturas elevadas e perda das características lubrificantes	4	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração do rolamento ou observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	4	96	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento documentado de monitorização <u>trimestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 16

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeiras (e Permutadores de Calor)

Data de Preparação: 07.07.10

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>tubagem de permutação de calor:</u> recuperação do calor gerado pela combustão de nafta, gordura ou farinha animal, visando a produção de vapor para fins industriais	entupimento	intervenção correctiva não planeada (ex. desobstrução de emergência) ou preventiva sistemática (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve <= cuidados gerais de limpeza ou profundo <= espelho de água!)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira (ou permutador de calor) e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	acumulação de fuligem ou poeiras (cinzas)	4 (5)	observação de situações de subida lenta da pressão de vapor e emissão de colunas de fumo negro	2	48 (60)	<u>classe de risco tolerável:</u> instituir um procedimento documentado de cuidados gerais de limpeza periódica <u>semestral</u> (e de <u>mês e meio</u> ) e manter os escovilhões em bom estado de conservação

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 17

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeiras e Permutadores de Calor

Data de Preparação: 07.07.12

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>placa e molde refractários do copo do queimador:</u> protecção da porta e dos vários órgãos ali defronte instalados e matriz da tubagem de nafta, ar 1.º e 2.º	deterioração do betão refractário	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou preventiva sistemática (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: intermédio ou profundo <= perfuração da carcaça!)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira ou permutador de calor e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	alta taxa de ocupação e exposição a temperaturas elevadas (i.e. perda da adesividade do cimento)	4	inspecção visual periódica da conformação da chama	4	96	<u>classe de risco inaceitável:</u> incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina diária</u> dos operadores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 18

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeiras e Permutadores de Calor

Data de Preparação: 07.07.12

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>correia do motor do copo do queimador 9000 rpm:</u> transmissão e multiplicação da velocidade de 1500 rpm do motor para as 9000 rpm do veio do copo através do jogo de carretos de secção mais apropriada	desgaste acentuado	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve): <i>stock</i> de peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira ou permutador de calor e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	atrito, velocidade de rotação e taxa de ocupação elevadas	4	monitorização da tensão, estado de degradação e ruído associado à vibração ou observação de situações de salto da correia	3	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de monitorização da tensão, estado de degradação e vibração da correia e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 19

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeiras e Permutadores de Calor

Data de Preparação: 07.07.12

Data de Revisão: 07.09.21

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento de Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>rolamentos do veio do copo 9000 rpm:</u> apoio dos elementos rotativos	gripagem	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve); <i>stock</i> de peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira ou permutador de calor e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	velocidade de rotação e taxa de ocupação elevadas e perda das características lubrificantes	4	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração dos rolamentos ou observação de situações de salto da correia	3	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento documentado de monitorização <u>trimestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 20

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeiras e Permutadores de Calor

Data de Preparação: 07.07.13

Data de Revisão: 07.09.22

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas de água 2900 rpm:</u> reposição permanente do nível de água das caldeiras dentro dos limites de segurança	deterioração de vedantes e gripagem de rolamentos	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. encomenda do <i>Kit</i> de reparação e escolha da oportunidade de substituição): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira ou permutador de calor e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	alta taxa de ocupação, pressão de serviço bem acima de 10 bar e perda das características lubrificantes	3	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração dos rolamentos ou observação de fugas ou recuo do nível habitual de funcionamento da caldeira (i.e. perda da pressão de serviço)	2	36	<u>classe de risco tolerável:</u> instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão; incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina diária</u> dos operadores e manter a estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda do <i>kit</i> de reparação <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 21

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Condutas de Vapor

Data de Preparação: 07.07.13

Data de Revisão: 07.09.22

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>juntas</u> <u>de cartão</u> <u>grafitado</u> <u>armado:</u> vedação dos encaixes rápidos das condutas	deterioração	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve): <i>stock</i> de peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do sector não são afectadas; caso contrário, ocorrem falhas totais ou parciais ao nível da central térmica e linhas de produção	perda económica associada à indisponibilidade do circuito ou sector e falha acessória total ou parcial do sistema fabril como um todo	6	ciclos de expansão e contração semanais (i.e. perda de plasticidade)	3	observação de pequenas fugas	3	54	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervensões; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e incluir o procedimento de inspecção visual na <u>rotina semanal</u> dos operadores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 22

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Válvulas de Vapor (Família dos Digestores, Fritadores, Cozedores, Hidrolizadores, Secadores, Evaporadores e Coaguladores)

Data de Preparação: 07.07.14

Data de Revisão: 07.09.22

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>vedante</u> <u>do veio:</u> garantia de estanqueidade da circulação do ar comprimido (responsável pelo enchimento e esvaziamento do cogumelo, i.e. abertura e fecho da válvula)	deterioração	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência): stock de peças de reserva: reparabilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total ou parcial da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha (ou digestor: paralelo totalmente redundante) e falha parcial e acessória do sistema fabril	6	exposição a pressões de serviço elevadas (2 bar) e perda de plasticidade	3	indicação rígida de percentagem nula de abertura das válvulas nos painéis de controlo dos autómatos (i.e. ocorrência de perdas de ar)	7	126	<u>classe de risco inaceitável:</u> alterar a actual estratégia de manutenção correctiva para preventiva sistemática com uma periodicidade de <u>ano e meio</u> e efectuar a encomenda da peça de substituição <i>just-in-time</i>



Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 23

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeira de Aquecimento

Data de Preparação: 07.07.15

Data de Revisão: 07.09.22

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>queimador</u> + <u>filtro de</u> <u>gasóleo</u> + <u>câmara de</u> <u>combustão</u> : produção de água quente para facilitar o escoamento de nafta e gordura animal	entupimento	intervenção correctiva não planeada (ex. desobstrução de emergência) ou preventiva sistemática (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve <= cuidados gerais de limpeza)	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da central térmica	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira e falha total e acessória do sistema fabril como um todo	8	acumulação de fuligem	6	observação de situações de subida lenta da temperatura da água e emissão de colunas de fumo negro	2	96	<u>classe de risco inaceitável</u> : instituir um procedimento <u>semanal</u> documentado de cuidados gerais de limpeza e manter os escovilhões em bom estado de conservação

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 24

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Produção de Vapor

Equipamento: Caldeira de Aquecimento

Data de Preparação: 07.07.15

Data de Revisão: 07.09.22

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas de água 2900 rpm:</u> facilitação da injeção de combustível (pelo aumento da viscosidade e velocidade de escoamento da nafta e gordura) através da circulação de água quente em tubagem exterior	gripagem de rolamentos e colapso no momento do arranque	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. escolha da oportunidade de substituição): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer da caldeira não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da central térmica	perda económica associada à indisponibilidade da caldeira e falha total e acessória do sistema fabril como um todo	8	alta taxa de ocupação, exposição a temperaturas elevadas e perda das características lubrificantes	3	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração do rolamento ou observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão e manter um <i>stock</i> adequado de sobresselentes <i>just-in-case</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 25

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais e Difusas (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: ETAR

Data de Preparação: 07.07.16

Data de Revisão: 07.09.24

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas submersíveis</u> <u>2900 rpm:</u> escoamento sob pressão do efluente entre as várias fases de tratamento	gripagem de rolamentos	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência e encomenda de peças de substituição): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total do sistema de depuração	perda económica associada à indisponibilidade do sistema de depuração e falha total e acessória do sistema fabril como um todo	5	alta taxa de ocupação, pressão de serviço acima de 4 bar e perda das características lubrificantes	3	observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	45	<u>classe de risco tolerável:</u> manter a actual estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda de peças de substituição <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 26

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais e Difusas (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Equipamento: ETAR

Data de Preparação: 07.07.16

Data de Revisão: 07.09.24

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas submersíveis</u> <u>2900 rpm:</u> escoamento sob pressão do efluente entre as várias fases de tratamento	curto-circuito	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência e encomenda do serviço de rebobinagem): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total do sistema de depuração	perda económica associada à indisponibilidade do sistema de depuração e falha total e acessória do sistema fabril como um todo	5	vedação defeituosa da carcaça (i.e. perda de estanqueidade devido à abertura para substituição de rolamentos): cadeia de impedimentos!	3	observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	45	<u>classe de risco tolerável:</u> manter a actual estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda do serviço de rebobinagem <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes

# Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 27

Sistema: Central Térmica

Subsistema: Purga e Reciclagem de Condensados

Conjunto: Colector de Linha 1, 2, 3 ou 4 (Nodo de Linha)

Data de Preparação: 07.07.16

Data de Revisão: 07.09.24

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas de purgas 2900 rpm:</u> recirculação sob pressão de condensados oriundos das purgas dos tratamentos térmicos	gripagem de rolamentos	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. encomenda de rolamentos e escolha da oportunidade de substituição): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade do circuito quer do colector não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	alta taxa de ocupação, exposição a temperaturas elevadas, pressão de serviço acima de 4 bar e perda das características lubrificantes	3	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração do rolamento ou observação de situações de disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	54	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter a encomenda de peças de substituição <i>just-in-time</i> e a reposição para <i>stock</i> de sobresselentes e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 28

Sistema: Depuração dos Vapores Orgânicos

Subsistema: Fontes Individuais e Difusas (Linhas 1, 2, 3 e 4)

Conjuntos: Torres de Lavagem e Neutralização, Flotador e Colectores das Torres de Arrefecimento

Data de Preparação: 07.07.16

Data de Revisão: 07.09.24

Data de Lançamento:

Rotável/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>bombas de condensados e recirculação (torres de leito fixo e flotador)</u> 2900 rpm: escoamento sob pressão de condensados oriundos dos bolos digestivos e recirculação do efluente clarificado	corrosão de vedantes e gripagem de rolamentos	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência) ou planeada (ex. encomenda do <i>Kit</i> de reparação e escolha da oportunidade de substituição): <i>stock</i> de sobresselentes: redundâncias passivas!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade dos circuitos quer dos equipamentos não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha parcial do sistema de depuração: buffers e comando hidráulico!!	perda económica associada à indisponibilidade do equipamento e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	5	alta taxa de ocupação, exposição a efluente muito corrosivo, pressão de serviço acima de 4 bar e perda de plasticidade e características lubrificantes	3	monitorização do ruído associado ao esforço do motor e vibração dos rolamentos ou observação de situações de perda da pressão de serviço e disparo da protecção dos motores (i.e. o térmico)	3	45	<u>classe de risco tolerável:</u> evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter a encomenda do <i>kit</i> de reparação <i>just-in-time</i> e a reposição para <i>stock</i> de sobresselentes e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração dos órgãos em questão e de perda da pressão de serviço

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

FMECA n.º 29

Sistema: Linhas de Produção

Subsistema: Linha 3

Equipamento: Bombas de Sangue

Data de Preparação: 07.07.17

Data de Revisão: 07.09.24

Data de Lançamento:

Componente/ Função	Falha					Causa		Detecção		Acção de Tratamento do Risco	
	Modo de Falha	Efeitos da Falha (Impacto Hierárquico)			Severidade	Causas da Falha	Ocorrência	Meios de Controlo	Detectabilidade	RPN	Recomendações
		Equipamento	Subsistema	Sistema							
<u>estátor + rotor:</u> compressão e escoamento do material sanguíneo	fissura do estátor	intervenção correctiva não planeada (ex. substituição de emergência do conjunto) ou planeada (ex. escolha da oportunidade e nível de carga da manutenção: leve): <i>stock</i> de <i>kits</i> de reparação: manutenibilidade alta!!	se o tempo de reposição do equipamento for inferior ao tempo morto mais próximo e mais vantajoso, então quer a disponibilidade da linha quer do equipamento não são afectadas; caso contrário, ocorre a falha total da linha de produção em jogo	perda económica associada à indisponibilidade da linha de produção em jogo e falha parcial e acessória do sistema fabril como um todo	6	presença de elementos metálicos no fluxo de material sanguíneo	4	observação de de situações de perda da pressão de serviço	3	72	<u>classe de risco inaceitável:</u> incluir o procedimento de monitorização do nível da pressão de serviço na <u>rotina diária</u> dos operadores e manter um <i>stock</i> adequado de <i>kits</i> de reparação <i>just-in-case</i> ou contratualizar junto dos fornecedores a cozedura prévia do sangue e simplificar o segmento de missão compreendido entre a descarga e os digestores

## Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

### Observações de RPN por Equipamentos/Componentes Críticos

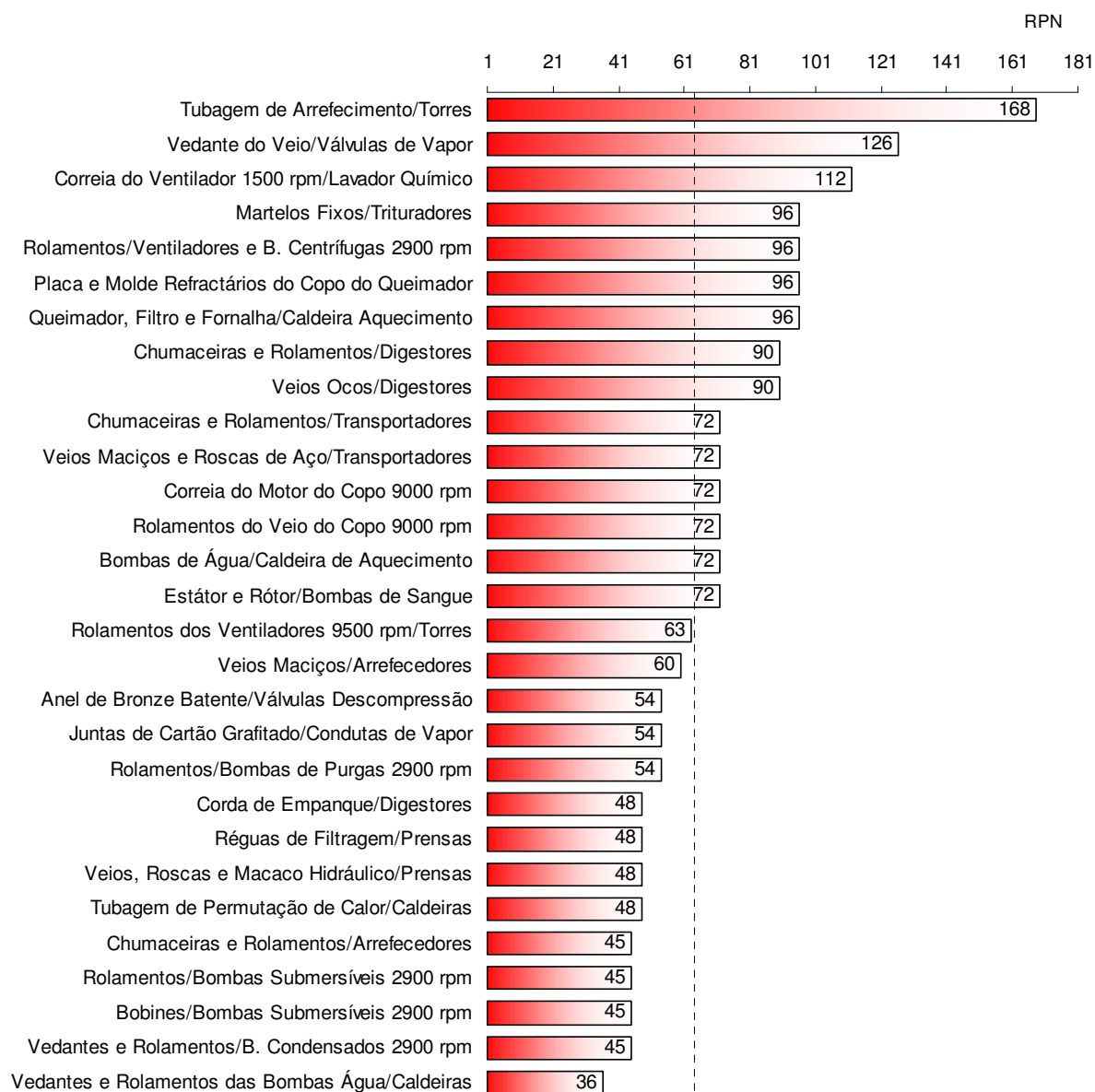
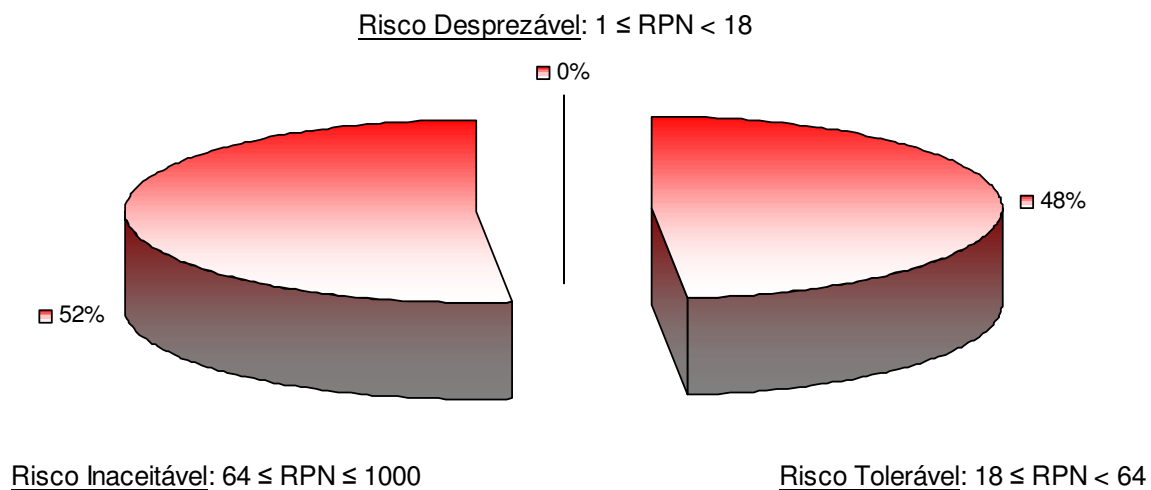
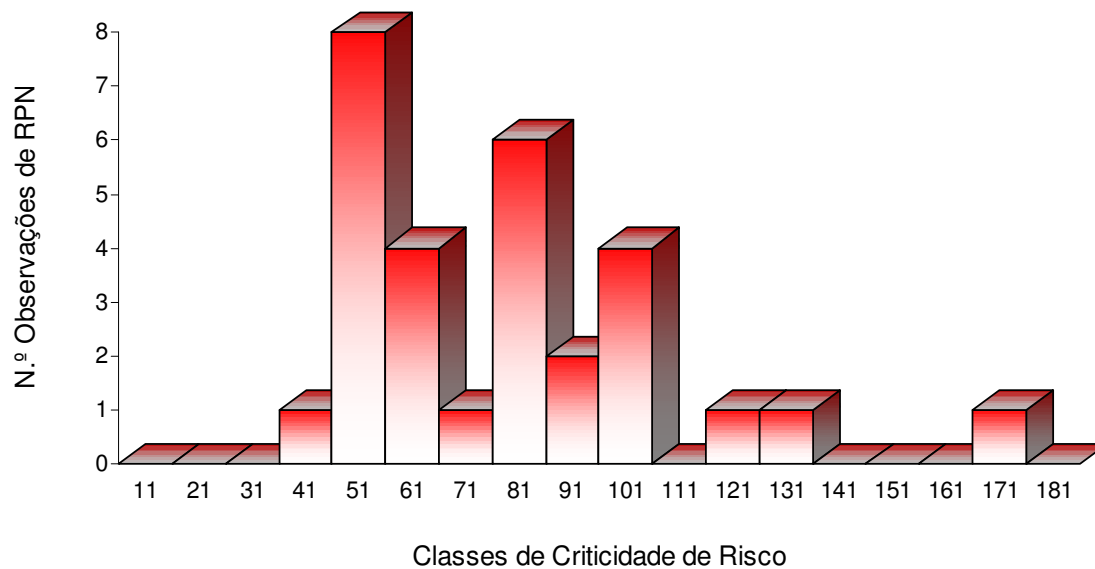




Diagrama Circular da Proporção de RPN por Classes de Criticidade de Risco



Histograma do Efectivo de RPN por Classes de Criticidade de Risco



Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

LISTA DE CONTROLOS (I. WATCHLIST)		
Risco (Item/Evento)	Faceta (Área de Impacto)	Ação de Tratamento
1. chumaceiras/transportadores: gripagem do rolamento ou relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade (custos e programação da produção, por via indirecta)	RPN=72 (risco inaceitável): evitar ao máximo o retardamento das intervenções; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do grupo moto-redutor e vibração dos rolamentos das chumaceiras
2. veios e roscas/transportadores: desgaste acentuado ou rotura/ fractura por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	RPN=72 (risco inaceitável): alargar o <i>stock</i> de peças de substituição a todas as famílias de comprimento (4, 5 e 6 m) a fim de evitar as operações de corte e soldadura de emergência e instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da espessura e resistência dos materiais
3. martelos fixos/ família dos trituradores: desgaste acentuado e rotura/fractura de martelos	qualidade do produto (requisito regulamentar: redução da granulometria)	RPN=96 (risco inaceitável): instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de inspecção visual da afinação e estado de degradação do material
4. corda de empanque grafitada/família dos digestores: desgaste acentuado ou assimétrico ou, ainda, obstrução	fiabilidade e manutenibilidade (custos e programação da produção, por via indirecta)	RPN=48 (risco tolerável): incluir o procedimento de inspecção visual da condição do aperto na <u>rotina diária</u> dos operadores
5. chumaceiras/ família dos digestores: gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	RPN=90 (risco inaceitável): evitar ao máximo que as causas potenciais de falha conduzam aos modos de falha mais graves, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos das chumaceiras
6. veios/ família dos digestores: desalinhamento	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	RPN=90 (risco inaceitável): evitar ao máximo que a gripagem do rolamento conduza ao modo de falha mais grave, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual da condição do aperto e ponteira (i.e. desgaste assimétrico) na <u>rotina semanal</u> dos operadores
7. chumaceiras/arrefecedores: gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	RPN=45 (risco tolerável): evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do grupo moto-redutor e vibração dos rolamentos das chumaceiras

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

LISTA DE CONTROLOS (I. WATCHLIST)		
Risco (Item/Evento)	Faceta (Área de Impacto)	Ação de Tratamento
8. veios/ arrefecedores: <b>desalinhamento</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=60 (risco tolerável)</b> : evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções, conjugando a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de peças de substituição <i>just-in-case</i> , e incluir o procedimento de inspecção visual da condição da ponteira (i.e. desgaste assimétrico) na <u>rotina semanal</u> dos operadores
9. réguas de filtragem/ família das prensas: <b>desgaste acentuado</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=48 (risco tolerável)</b> : instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de inspecção visual da condição do material e manter a estratégia de encomenda das peças de substituição <i>just-in-time</i>
10. veios, roscas e macaco hidráulico/ família das prensas: <b>desgaste acentuado</b> <b>e obstrução</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=48 (risco tolerável)</b> : instituir um procedimento documentado de controlos <u>trimestrais</u> intermédios da condição do material; conjugar a melhoria dos tempos de indisponibilidade com a manutenção de um <i>stock</i> adequado de sobresselentes <i>just-in-case</i> e incluir os cuidados gerais de limpeza (i.e. um ciclo em vazio) no <u>final do turno vespertino</u>
11. batente/ válvulas de descompressão: <b>desgaste acentuado</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=54 (risco tolerável)</b> : manter a actual estratégia de encomenda da peça de substituição <i>just-in-time</i> , ou seja, requisitar a ordem de compra ao primeiro sinal de fuga de vapor, e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semanal</u> de percentagens negativas de abertura das válvulas
12. tubagem de arrefecimento/ torres de arrefecimento (grupos aerocondensadores): <b>entupimento</b>	segurança e saúde (tensão psicológica excessiva e inaceitável)	<b>RPN=168 (risco inaceitável)</b> , motivado por um desfasamento entre procura (carga) e capacidade): combinar qualidade, custo e entrega (i.e. capacidade instalada e disponível em cada hora) e facilitar os meios técnicos e humanos adequados ao nível de desempenho esperado das funções produção e manutenção, e instituir um procedimento <u>quinzenal</u> documentado de cuidados gerais de limpeza
13. rolamentos do ventiladores 9500 rpm/ grupos aerocondensadores: <b>corrosão e gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade (custo ambiental e programação da produção, por via indirecta)	<b>RPN=63 (risco tolerável)</b> : evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos
14. correia do ventilador 1500 rpm/ lavador químico: <b>corrosão, fractura</b> <b>e rotura da borracha</b>	fiabilidade e manutenibilidade (custo ambiental, por via indirecta)	<b>RPN=112 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de monitorização da tensão e estado de degradação da correia e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

LISTA DE CONTROLOS (I. WATCHLIST)		
Risco (Item/Evento)	Faceta (Área de Impacto)	Acção de Tratamento
15. rolamentos/ventiladores e bombas centrífugas 2900 rpm: <b>gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade (custos e programação da produção, por via indirecta)	<b>RPN=96 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento documentado de monitorização <u>trimestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva e sobresselentes <i>just-in-case</i>
16. tubagem de permutação de calor/caldeiras: <b>entupimento</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=48 (risco tolerável)</b> : instituir um procedimento <u>semestral</u> documentado de cuidados gerais de limpeza e manter os escovilhões em bom estado de conservação
17. placa e molde refractários do copo do queimador/caldeiras: <b>deterioração do betão refractário</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=96 (risco inaceitável)</b> : incluir o procedimento de inspecção visual da conformação da chama na <u>rotina diária</u> dos operadores
18. correia do motor do copo do queimador 9000 rpm/caldeiras: <b>desgaste acentuado</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=72 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento <u>trimestral</u> documentado de monitorização da tensão, estado de degradação e vibração da correia e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>
19. rolamentos do veio do copo 9000 rpm/caldeiras: <b>gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=72 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento documentado de monitorização <u>trimestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos e manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i>
20. vedantes e rolamentos das bombas de água 2900 rpm/caldeiras: <b>deterioração de vedantes e gripagem de rolamentos</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=36 (risco tolerável)</b> : instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos; incluir o procedimento de inspecção visual de fugas ou perda da pressão de serviço na <u>rotina diária</u> dos operadores e manter a actual estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda do <i>kit</i> de reparação <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes
21. juntas de cartão grafitado armado/conduitas de vapor: <b>deterioração</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=54 (risco tolerável)</b> : evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter um <i>stock</i> adequado de peças de reserva <i>just-in-case</i> e incluir o procedimento de inspecção visual de pequenas fugas na <u>rotina semanal</u> dos operadores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

LISTA DE CONTROLOS (I. WATCHLIST)		
Risco (Item/Evento)	Faceta (Área de Impacto)	Ação de Tratamento
22. vedante do veio/ válvulas de vapor: <b>deterioração</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=126 (risco inaceitável)</b> : alterar a actual estratégia de manutenção correctiva para preventiva sistemática com uma periodicidade de <u>ano e meio</u> e efectuar a encomenda da peça de substituição <i>just-in-time</i>
23. queimador, filtro de gasóleo e câmara de combustão/caldeira de aquecimento: <b>entupimento</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=96 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento <u>semanal</u> documentado de cuidados gerais de limpeza e manter os escovilhões em bom estado de conservação
24. bombas de água 2900 rpm/caldeira de aquecimento: <b>gripagem de rolamentos e colapso no momento do arranque</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=72 (risco inaceitável)</b> : instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído do motor e vibração dos rolamentos e manter um <i>stock</i> adequado de sobresselentes <i>just-in-case</i>
25. rolamentos/bombas submersíveis 2900 rpm: <b>gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=45 (risco tolerável)</b> : manter a actual estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda de peças de substituição <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes (e registo da falha)
26. bobines/bombas submersíveis 2900 rpm: <b>curto-circuito</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=45 (risco tolerável)</b> : manter a actual estratégia de substituição imediata da bomba, encomenda do serviço de rebobinagem <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes (e registo da falha)
27. rolamentos/ bombas de purgas 2900 rpm: <b>gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=54 (risco tolerável)</b> : evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter a encomenda de peças de substituição <i>just-in-time</i> e a reposição para <i>stock</i> de sobresselentes e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído e vibração
28. vedantes e rolamentos/bombas de condensados e recirculação 2900 rpm: <b>corrosão e gripagem</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=45 (risco tolerável)</b> : evitar sempre que "racionalmente praticável" o retardamento das intervenções; manter a encomenda do <i>kit</i> de reparação <i>just-in-time</i> e reposição para <i>stock</i> de sobresselentes e instituir um procedimento documentado de monitorização <u>semestral</u> do ruído, vibração e da pressão de serviço
29. estátor e rotor/ bombas de sangue: <b>fissura do estátor</b>	fiabilidade e manutenibilidade ( <i>idem</i> )	<b>RPN=72 (risco inaceitável)</b> : incluir o procedimento de monitorização do nível da pressão de serviço na <u>rotina diária</u> dos operadores e manter um <i>stock</i> adequado de <i>kits</i> de reparação <i>just-in-case</i> ou contratualizar junto dos fornecedores a cozedura prévia do sangue e simplificar o segmento de missão compreendido entre a descarga e os digestores

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS DIÁRIOS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
4. corda de empanque grafitada/ família dos digestores: desgaste acentuado ou assimétrico ou, ainda, obstrução inspecção visual da condição do aperto	Seg. Ter. Qua. Qui. Sex. Sáb.		
10. veios/ família das prensas: obstrução cuidados gerais de limpeza (i.e. correr um ciclo em vazio) no final do turno vespertino	Seg. Ter. Qua. Qui. Sex. Sáb.		
17. placa e molde refractários do do copo do queimador/ caldeiras: deterioração do betão refractário inspecção visual da conformação da chama	Seg. Ter. Qua. Qui. Sex. Sáb.		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS DIÁRIOS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
20. vedantes das bombas de água 2900 rpm/ caldeiras: deterioração de vedantes inspecção visual de fugas ou perda da pressão de serviço	Seg. Ter. Qua. Qui. Sex. Sáb.		
29. estátor e rotor/ bombas de sangue: fissura do estátor monitorização do nível da pressão de serviço	Seg. Ter. Qua. Qui. Sex. Sáb.		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS SEMANAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
6. veios/ família dos digestores: desalinhamento inspecção visual da condição do aperto e ponteira (i.e. desgaste assimétrico)	1. <sup>a</sup> 2. <sup>a</sup> 3. <sup>a</sup> 4. <sup>a</sup> 5. <sup>a</sup> 6. <sup>a</sup>		
8. veios/ arrefecedores: desalinhamento inspecção visual da condição da ponteira (i.e. desgaste assimétrico)	1. <sup>a</sup> 2. <sup>a</sup> 3. <sup>a</sup> 4. <sup>a</sup> 5. <sup>a</sup> 6. <sup>a</sup>		
11. batente/ válvulas de descompressão: desgaste acentuado monitorização de percentagens negativas de abertura das válvulas no painel de controlo	1. <sup>a</sup> 2. <sup>a</sup> 3. <sup>a</sup> 4. <sup>a</sup> 5. <sup>a</sup> 6. <sup>a</sup>		



Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS SEMANAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
12. tubagem de arrefecimento/ torres de arrefecimento: entupimento cuidados gerais de limpeza (i.e. desobstrução da tubagem e aperto das juntas dilatadas)	1. <sup>a</sup>  3. <sup>a</sup>  5. <sup>a</sup>		
21. juntas de cartão grafitado armado/ condutas de vapor: deterioração inspecção visual de pequenas fugas	1. <sup>a</sup> 2. <sup>a</sup> 3. <sup>a</sup> 4. <sup>a</sup> 5. <sup>a</sup> 6. <sup>a</sup>		
23. queimador, filtro de gasóleo e câmara de combustão/ caldeira de aquecimento: entupimento cuidados gerais de limpeza (e conservação dos escovilhões)	1. <sup>a</sup> 2. <sup>a</sup> 3. <sup>a</sup> 4. <sup>a</sup> 5. <sup>a</sup> 6. <sup>a</sup>		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS TRIMESTRAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
3. martelos fixos/ família dos trituradores: desgaste acentuado e rotura/fractura de martelos inspecção visual da afinação e estado de degradação do material	1.º 2.º 3.º 4.º 5.º 6.º		
10. veios, roscas e macaco hidráulico/família das prensas: desgaste acentuado controlo intermédio da condição do material	3.º 5.º		
14. correia do ventilador 1500 rpm/ lavador químico: corrosão, fractura e rotura da borracha monitorização da tensão e estado de degradação da correia	1.º 2.º 3.º 4.º 5.º 6.º		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS TRIMESTRAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
15. rolamentos/ventiladores e bombas centrífugas 2900 rpm: gripagem monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º 2.º 3.º 4.º 5.º 6.º		
18. correia do motor do copo do queimador 9000 rpm/caldeiras desgaste acentuado monitorização da tensão, estado de degradação e vibração da correia	1.º 2.º 3.º 4.º 5.º 6.º		
19. rolamentos do veio do copo do queimador 9000 rpm/caldeiras: gripagem monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º 2.º 3.º 4.º 5.º 6.º		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS SEMESTRAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
1. chumaceiras/ transportadores: gripagem do rolamento ou relaxamento por fadiga mecânica monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º  2.º  3.º		
2. veios e roscas/ transportadores: desgaste acentuado ou rotura/ fractura por fadiga mecânica inspecção visual da espessura e resistência dos materiais	1.º  2.º  3.º		
5. chumaceiras/ família dos digestores: gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º  2.º  3.º		
7. chumaceiras/ arrefecedores: gripagem do rolamento, obstrução ou relaxamento por fadiga mecânica monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º  2.º  3.º		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS SEMESTRAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
9. réguas de filtragem/ família das prensas: <b>desgaste acentuado</b> inspecção visual da condição do material	1.º		
	2.º		
	3.º		
13. rolamentos dos ventiladores/ grupos aerocondensadores: <b>corrosão e gripagem</b> monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º		
	2.º		
	3.º		
16. tubagem de permutação de calor/ caldeiras: <b>entupimento</b> cuidados gerais de limpeza (e conservação dos escovilhões)	1.º		
	2.º		
	3.º		
20. rolamentos das bombas de água 2900 rpm/caldeiras: <b>gripagem de rolamentos</b> monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º		
	2.º		
	3.º		

Anexo C - FMECA e Lista de Controlos

REGISTO DE CONTROLOS SEMESTRAIS			
Controlo (Item/Evento/Prevenção)	Responsabilidade e Data	Resultado	Intervenção de Emergência ou Planeada
22. vedante do veio/ válvulas de vapor: deterioração substituição preventiva sistemática com uma periodicidade de 18 meses	3.º		
24. bombas de água/ caldeira de aquecimento: gripagem de rolamentos e colapso no momento do arranque monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º 2.º 3.º		
27. rolamentos/ bombas de purgas 2900 rpm: gripagem monitorização do ruído do motor e vibração dos rolamentos	1.º 2.º 3.º		
28. vedantes e rolamentos/bombas de condensados e recirculação 2900 rpm: corrosão e gripagem monitorização do ruído do motor, vibração dos rolamentos e pressão de serviço	1.º 2.º 3.º		



SISTEMA FABRIL

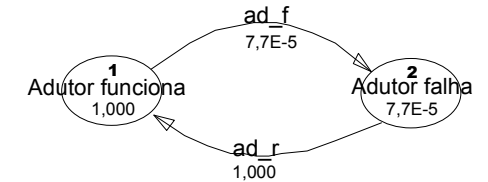
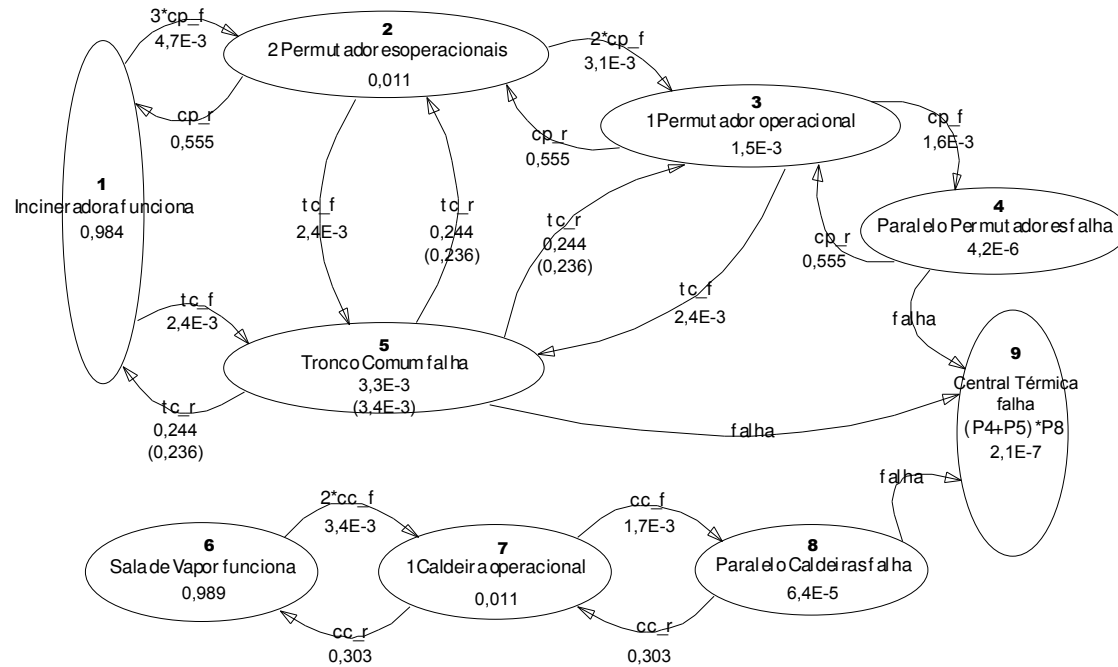
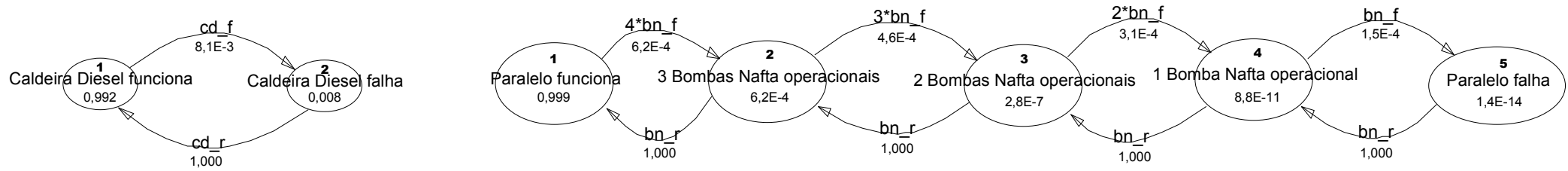
DIAGRAMAS  
DE ESTADO

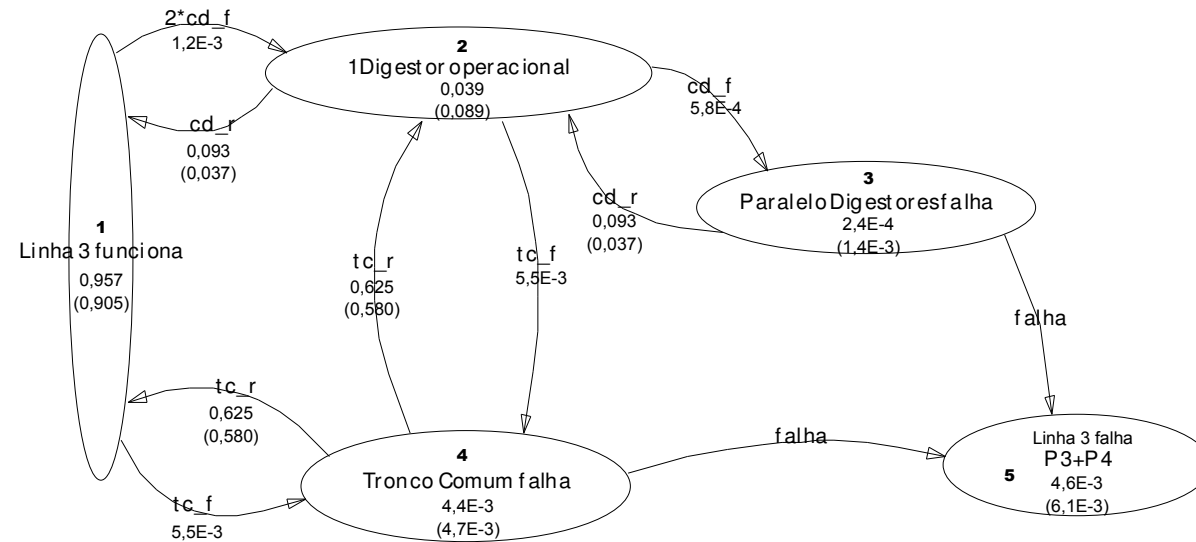
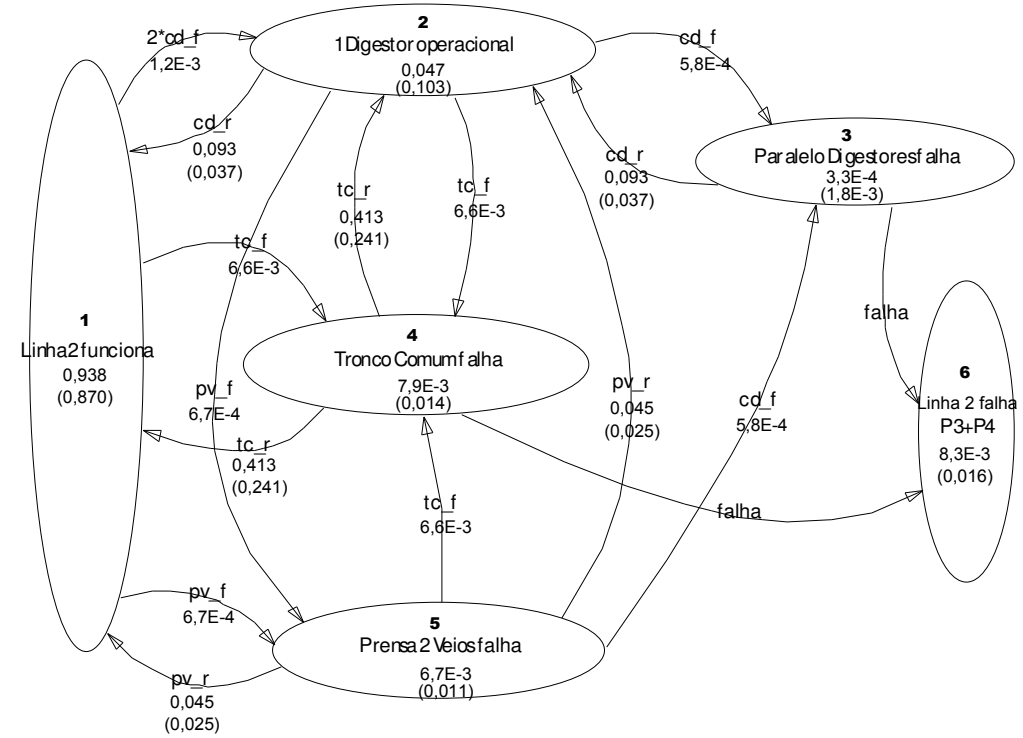
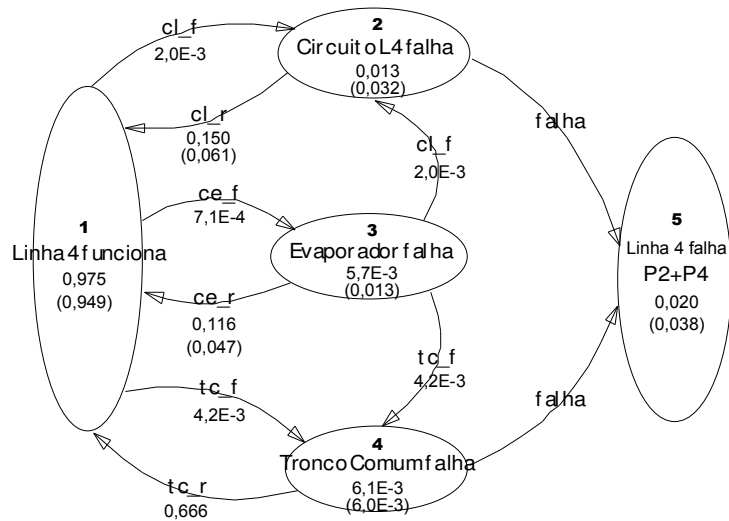


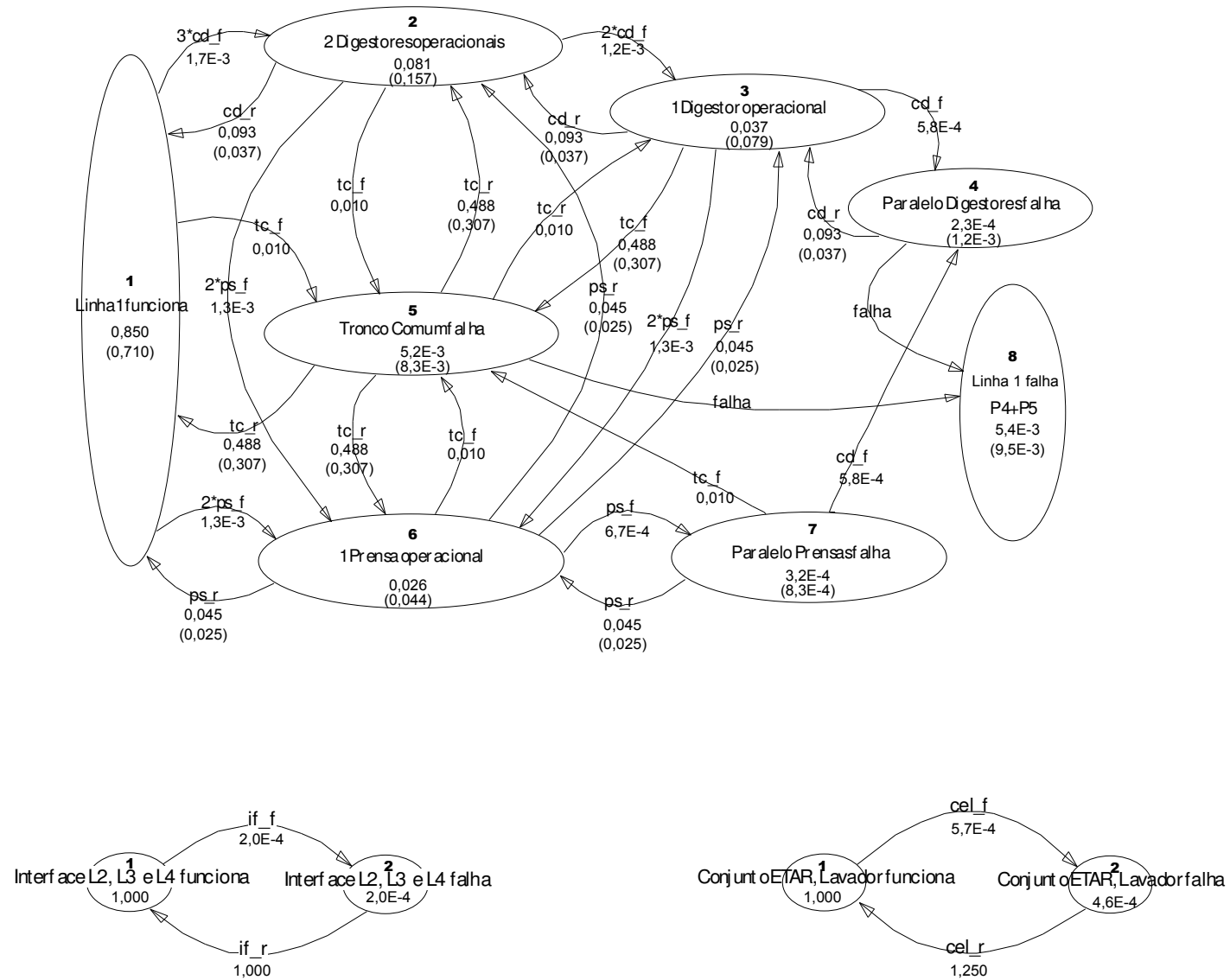
MODELOS MARKOV

MODELOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE











## Anexo E - Índices de Desempenho

ÍNDICES DE DESEMPENHO						
Cenário Projectado do Ambiente Técnico da Manutenção						
Processos	Estados	Probabilidade Limite	(In)disponibilidade	Frequência de	(Duração) Tempo de	MTBF
Fabris	Acumulados	de Permanência		Visitas (ano <sup>-1</sup> )	Permanência (horas)	(horas)
A. conjunto	operacional	P1 = 0,992	A = 0,992	f1 = 52,23	m1 = 123	m1+m2
caldeira de aquecimento	falha	P2 = 0,008	U = 0,008	f2 = 52	m2 = 1	= 124
B. paralelo	operacional	P1 = 0,999	A = 1	f1 = 4	m1 = 1613	T5 =
4 bombas de nafta	degradado	P234 = 6,203E-4	—	f234 = 4	m234 = 1	71,5E+12
	falha	P5 = 1,4E-14	U = 1,4E-14	f5 = 9,1E-11	m5 = 1	
C. paralelo	operacional	P1 = 0,989	A = 0,999936	f1 = 22	m1 = 294	
de caldeiras	degradado	P2 = 0,011	—	f2 = 22	m2 = 3	T3 = 51.570
	falha	P3 = 6,4E-5	U = 6,4E-5	f3 = 0,1	m3 = 3	
D+E. paralelo	operacional	P1 = 0,984	A = 0,9967	f1 = 45	m1 = 141	
3 permutadores em	degradado	P23=0,0125	—	f23 = 40	m23 = 2	T1 = 143
série com tronco comum	falha	P45 = 3,3E-3	U = 3,3E-3	f45 = 16	m45 = 1	
F. adutor	operacional	P1 = 0,999923	A = 0,999923	f1 = 0,5005	m1 = 12986	m1+m2
	falha	P2 = 7,7E-5	U = 7,7E-5	f2 = 0,5005	m2 = 1	= 12.987
G+H+I. circuito L4	operacional	P1 = 0,975	A = 0,98	f1 = 44	m1 = 145	T1 =
em série com tronco	degradado	P3 = 5,7E-3	—	f3 = 4,5	m3 = 8	148,5
comum+evaporador	falha	P24 = 0,020	U = 0,020	f24 = 39	m24 = 3	
J+L+P. prensa+paralelo	operacional	P1 = 0,938	A = 0,9917	f1 = 52	m1 = 118	T1 =
2 digestores em série	degradado	P2 = 0,0537	—	f2 = 33	m2 = 10,6	126
com tronco comum L2	falha	P34 = 0,0083	U = 0,0083	f34 = 43	m34 = 1,3	
M+L. paralelo	operacional	P1 = 0,957	A = 0,9953	f1 = 41,5	m1 = 149	T1 =
2 digestores em série	degradado	P2 = 0,039	—	f2 = 25	m2 = 10	156
com tronco comum L3	falha	P34 = 0,00464	U = 0,00464	f34 = 36	m34 = 0,84	
N. interface	operacional	P1 = 0,9998	A = 0,9998	f1 = 1,28	m1 = 5049	m1+m2
L2, L3 e L4	falha	P2 = 2E-4	U = 2E-4	f2 = 1,3	m2 = 1	= 5.050
O+L+P. paralelo 2 prensas	operacional	P1 = 0,850	A = 0,994	f1 = 72	m1 = 77	T1 =
+paralelo 3 digestores em	degradado	P23 = 0,144	—	f2 = 66	m2 = 14	90,5
série com tronco comum L1	falha	P45 = 0,006	U = 0,006	f45 = 66	m45 = 0,6	
Q. conjunto lavador	operacional	P1 = 0,9995	A = 0,9995	f1 = 3,7	m1 = 1754	m1+m2
químico e ETAR	falha	P2 = 4,6E-4	U = 4,6E-4	f2 = 3,74	m2 = 0,8	= 1.755
UTS.	operacional	P1 = 0,7435	A = 0,9915 <sup>(1)</sup>	—	—	—
planta fabril	degradado	P2 = 0,2480 <sup>(2)</sup>	—	—	—	—
	falha	P3 = 0,0085	U = 0,0085	—	—	—

<sup>(1)</sup> Via Diagramas Bloco de Fiabilidade: Modelo Simplificado.

<sup>(2)</sup> Via Reunião (ou Soma) de eventos independentes e inclusivos.

## Anexo E - Índices de Desempenho

ÍNDICES DE DESEMPENHO						
Cenário Nominal do Ambiente Técnico da Manutenção						
Processos	Estados	Probabilidade Limite	(In)disponibilidade	Frequência de	(Duração) Tempo de	MTBF
Fabris	Acumulados	de Permanência		Visitas (ano <sup>-1</sup> )	Permanência (horas)	(horas)
A. conjunto	operacional	P1 = 0,992	A = 0,992	f1 = 52,23	m1 = 123	m1+m2
caldeira de aquecimento	falha	P2 = 0,008	U = 0,008	f2 = 52	m2 = 1	= 124
B. paralelo	operacional	P1 = 0,999	A = 1	f1 = 4	m1 = 1613	
4 bombas de nafta	degradado	P234 = 6,203E-4	—	f234 = 4	m234 = 1	T5 =
	falha	P5 = 1,4E-14	U = 1,4E-14	f5 = 9,1E-11	m5 = 1	71,5E+12
C. paralelo	operacional	P1 = 0,989	A = 0,999936	f1 = 22	m1 = 294	
de caldeiras	degradado	P2 = 0,011	—	f2 = 22	m2 = 3	T3 = 51.570
	falha	P3 = 6,4E-5	U = 6,4E-5	f3 = 0,1	m3 = 3	
D+E. paralelo	operacional	P1 = 0,984	A = 0,9967	f1 = 45	m1 = 141	
3 permutadores em	degradado	P23=0,0125	—	f23 = 40	m23 = 2	T1 = 143
série com tronco comum	falha	P45 = 3,3E-3	U = 3,3E-3	f45 = 16	m45 = 1	
F. adutor	operacional	P1 = 0,999923	A = 0,999923	f1 = 0,5005	m1 = 12986	m1+m2
	falha	P2 = 7,7E-5	U = 7,7E-5	f2 = 0,5005	m2 = 1	= 12.987
G+H+I. circuito L4	operacional	P1 = 0,949	A = 0,962	f1 = 42,5	m1 = 145	T1 =
em série com tronco	degradado	P3 = 0,013	—	f3 = 4,5	m3 = 19	152,5
comum+evaporador	falha	P24 = 0,038	U = 0,038	f24 = 38,5	m24 = 6	
J+L+P. prensa+paralelo	operacional	P1 = 0,870	A = 0,984	f1 = 48	m1 = 118	T1 =
2 digestores em série	degradado	P2 = 0,114	—	f2 = 32	m2 = 23,25	136
com tronco comum L2	falha	P34 = 0,016	U = 0,016	f34 = 44,3	m34 = 2,35	
M+L. paralelo	operacional	P1 = 0,905	A = 0,9939	f1 = 39,5	m1 = 149	T1 =
2 digestores em série	degradado	P2 = 0,089	—	f2 = 25	m2 = 23	165
com tronco comum L3	falha	P34 = 0,0061	U = 0,0061	f34 = 36	m34 = 1,11	
N. interface	operacional	P1 = 0,9998	A = 0,9998	f1 = 1,28	m1 = 5049	m1+m2
L2, L3 e L4	falha	P2 = 2E-4	U = 2E-4	f2 = 1,3	m2 = 1	= 5.050
O+L+P. paralelo 2 prensas	operacional	P1 = 0,710	A = 0,9905	f1 = 60	m1 = 77	T1 =
+paralelo 3 digestores em	degradado	P23 = 0,2805	—	f2 = 63,5	m2 = 28,7	108,35
série com tronco comum L1	falha	P45 = 0,0095	U = 0,0095	f45 = 66,5	m45 = 0,93	
Q. conjunto lavador	operacional	P1 = 0,9995	A = 0,9995	f1 = 3,7	m1 = 1754	m1+m2
químico e ETAR	falha	P2 = 4,6E-4	U = 4,6E-4	f2 = 3,74	m2 = 0,8	= 1.755
UTS.	operacional	P1 = 0,5509	A = 0,9915 <sup>(1)</sup>	—	—	—
planta fabril	degradado	P2 = 0,4406 <sup>(2)</sup>	—	—	—	—
	falha	P3 = 0,0085	U = 0,0085	—	—	—

<sup>(1)</sup> Via Diagramas Bloco de Fiabilidade: Modelo Simplificado.

<sup>(2)</sup> Via Reunião (ou Soma) de eventos independentes e inclusivos.

---

## Modelo de Registo de Tempos de Falhas e Reparações

## REGISTO DOS TEMPOS DE FALHAS E REPARAÇÕES

REGISTO Nº	SISTEMA	SUBSISTEMA	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	SINTOMA/EFEITO
#	<u>Exemplos:</u> Linhas de Produção Central Térmica Depuração Vapores Comando e Controlo  <u>Exemplo completo:</u> Central Térmica Purga Condensados Válvula de Purga L3D1 Temperatura não sobe! (ciclo em vazio)  <u>Outros?</u>	Linhas 1, 2, 3 ou 4 Produção Vapor Purga Condensados Fontes Individuais Fontes Difusas Rede Fabril Água	Pré-aquecedores Caldeiras, Digestores Válvulas, Colectores Bombas, Ventiladores Aerocondensadores Lavador químico, ETAR Incineradora, Motores Transportadores Autómatos, Compressor Desumidificador Reguladores pressão	Veios Camisas Empanques Parafusos sem-fim Queimadores Correias Rolamentos Resistências Vedantes Contactos	<u>Comentário:</u>
FALHA	REPARAÇÃO	REPOSIÇÃO	TEMPO ESPERA	ESTADO ANTERIOR	ARRANQUE ÓRGÃO
Ocorrência:	Abertura:	Fecho:	<u>Comentário:</u>	Operacional	Data
Data	Data	Data		Degradado <u>Data detecção</u>	1ª mão
Hora	Hora	Hora		Avariado	2ª mão